5

USO RACIONAL DE ÁGUA E ENERGIA

Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água

Coordenador Ricardo Franci Gonçalves

Rede Cooperativa de Pesquisas

"Racionalização do uso de água e conservação de energia em sistemas de abastecimento públicos e em edificações, por meio de redução no consumo, reaproveitamento de fontes alternativas e outras formas de uso racional da água."

Instituições Participantes
IPT, UFBA, UFES, UFMS, UFPB, UFSC, UNIFEI

Apresentação

Esta publicação é um dos produtos da Rede de Pesquisas sobre "Racionalização do uso de água e conservação de energia em sistemas de abastecimento públicos e em edificações, por meio de redução no consumo, reaproveitamento de fontes alternativas e outras formas de uso racional da água" do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB - Edital 05, coordenado pelo Prof. Ricardo Franci Gonçalves do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo.

O PROSAB visa ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias nas áreas de águas de abastecimento, águas residuárias (esgoto), resíduos sólidos (lixo e biossólidos), manejo de águas pluviais urbanas, uso racional de água e energia, que sejam de fácil aplicabilidade, baixo custo de implantação, operação e manutenção, bem como visem à recuperação ambiental dos corpos d'água e à melhoria das condições de vida da população, especialmente as menos favorecidas e que mais necessitam de ações nessas áreas.

Até o final de 2008 foram lançados cinco editais do PROSAB, financiados pela FINEP, pelo CNPq e pela CAIXA, contando com diferentes fontes de recursos, como BID, Tesouro Nacional, Fundo Nacional de Recursos Hídricos (CT-HIDRO) e recursos próprios da Caixa. A gestão financeira compartilhada do PROSAB viabiliza a atuação integrada e eficiente de seus órgãos financiadores que analisam as solicitações de financiamento em conjunto e tornam disponíveis recursos simultaneamente para as diferentes ações do programa (pesquisas, bolsas e divulgação), evitando a sobreposição de verbas e tornando mais eficiente a aplicação dos recursos de cada agência.

Tecnicamente, o PROSAB é gerido por um grupo coordenador interinstitucional, constituído por representantes da FINEP, do CNPq, da CAIXA, das universidades, da associação de classe e das companhias de saneamento. Suas principais funções são: definir os temas prioritários a cada edital;

analisar as propostas, emitindo parecer para orientar a decisão da FINEP e do CNPq; indicar consultores *ad hoc* para avaliação dos projetos; e acompanhar e avaliar permanentemente o programa.

O programa funciona no formato de redes cooperativas de pesquisa formadas a partir de temas prioritários lançados a cada Chamada Pública. As redes integram os pesquisadores das diversas instituições, homogeneizam a informação entre seus integrantes e possibilitam a capacitação permanente de instituições emergentes. No âmbito de cada rede, os projetos das diversas instituições têm interfaces e enquadram-se em uma proposta global de estudos, garantindo a geração de resultados de pesquisa efetivos e prontamente aplicáveis no cenário nacional. A atuação em rede permite, ainda, a padronização de metodologias de análises, a constante difusão e circulação de informações entre as instituições, o estímulo ao desenvolvimento de parcerias e a maximização dos resultados.

As redes de pesquisas são acompanhadas e permanentemente avaliadas por consultores, pelas agências financiadoras e pelo Grupo Coordenador, através de reuniões periódicas, visitas técnicas e do Seminário de Avaliação Final.

Os resultados obtidos pelo PROSAB estão disponíveis através de manuais, livros, artigos publicados em revistas especializadas e trabalhos apresentados em encontros técnicos, teses de doutorado e dissertações de mestrado publicadas. Além disso, várias unidades de saneamento foram construídas nestes últimos anos por todo o país e, em maior ou menor grau, utilizaram informações geradas pelos projetos de pesquisa do PROSAB

A divulgação do PROSAB têm sido feita através de artigos em revistas da área, da participação em mesas-redondas, de trabalhos selecionados para apresentação em eventos, bem como pela publicação de porta-fólios e *folders* e a elaboração de maquetes eletrônicas contendo informações sobre os projetos de cada edital. Todo esse material está disponível para consulta e cópia no portal do Programa (www.finep.gov.br/prosab/index.html).

Grupo Coordenador do PROSAB:

período do Edital 5

Jurandyr Povinelli EESC

Cícero O. de Andrade Neto UFRN

Deíza Lara Pinto CNPq

Marcos Helano Montenegro MCidades

Sandra Helena Bondarovsky CAIXA

Jeanine Claper CAIXA

Luis Carlos Cassis CAIXA

Anna Virgínia Machado ABES

Ana Maria Barbosa Silva FINEP

Célia Maria Poppe de Figueiredo FINEP

O edital 5 do PROSAB foi financiado pela FINEP,CNPq e CAIXA com as seguintes fontes de recursos: Fundo Setorial de Recursos Hídricos e Recursos Ordinários do Tesouro Nacional do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e da Caixa Econômica Federal.

1ª Edição tiragem: 1000 exemplares

Coordenador
Ricardo Franci Gonçalves

Revisão
Zeppelini Editorial

Impressão
J. Sholna

Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água/Ricardo Franci Gonçalves (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, 2009

352p.: il

Projeto PROSAB

ISBN: 978-85-7022-161-2

1. Conservação de água 2. Conservação de energia 3. Reúso 4. Sistemas de abastecimento de água 5. Hidrosanitários; I. Gonçalves, Ricardo Franci

Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água

Ricardo Franci Gonçalves
coordenador

Editora ABES

Vitória, ES 2009

Coordenadores de Projeto

Asher Kiperstok UFBA

Benedito Cláudio da Silva UNIFEI

Heber Pimentel Gomes UFPB

Luiz Sérgio Phillippi UFSC

Peter Batista Cheung UFMS

Ricardo Franci Gonçalves UFES

Wolney Castilho Alves IPT

Consultores

Eduardo Pacheco Jordão UFRJ

Gilberto De Martino Jannuzzi UNICAMP

Autores

Asher Kiperstok
Benedito Cláudio da Silva
Eduardo Cohim
Eduardo Pacheco Jordão
Gilberto Januzzi
Heber Pimentel Gomes
Laila Vaz de Oliveira
Luciano Zanella
Luiz Sérgio Philippi
Maria Fernanda Lopes dos Santos
Mônica Pertel
Narumi Abe
Peter Batista Cheung
Renata Spinassé Della Valentina
Ricardo Franci Gonçalves
Ricardo Franci Gonçalves
Saulo de Tarso Marques Bezerra
Wolney Castilho Alves

Equipes dos projetos de pesquisa

UFES

Coordenador
Ricardo Franci Gonçalves

Equipe
Monica Pertel

Thais Cardinali Rebouças

Carolina Tonani

Josiane Castelo Guss

Elaine Pagung

Leonardo Zandonadi

Natália Araújo Dias

Laila de Oliveira Vaz

Priscilla Garozi Zancheta

Renata Spinassé
Della Valentina

Caio Cardinali Rebouças

UNIFEI

Coordenador
Benedito Cláudio da Silva

Equipe
Afonso Henriques Moreira

Carlos Roberto Rocha

Leopoldo Uberto Ribeiro Júnior

Adriana Santos Peixoto Corrêa

Gilze Chaves Belém Borges

Thiago Roberto Batista

UFBA

Coordenador
Asher Kiperstok

Equipe
Eduardo Cohim

Audenice Bezerra da Silva

Marion Cunha Dias Ferreira

Alice Costa Kiperstok

Alide Mitsue Watanabe Cova

Ana Cristina Bomfim Peixoto

Ana Paula Arruda de Almeida

Eduardo Garrido

Francisco Ramon Nascimento

José Augusto Sacramento

Julian Almeida Damasceno

Kalline Santos Cunha

Kelly Carneiro
de Oliveira Fontoura

Luiza Brendt

Matheus Paiva Brasil

Nara Dantas

Pricila Cal

Pedro Wilson de Abreu
Farias Neto

Vitor Gaudêncio de
Andrade Passos

Aldo Vilar Trindade

Antonio Fernando
de Souza Pinho

UFPB

Coordenador
Heber Pimentel Gomes

Equipe
Alain Marie Bernard
Passerat de Silans

Clivaldo Silva de Araújo

Laudelino Pedrosa Filho

Luis Simão de Andrade Filho

Simplício Arnaud da Silva

Saulo de Tarso
Marques Bezerra

André Castelo Branco Gomes

Marcos Cézar Lima Cordeiro

Moisés Menezes Salvino

Roberta Macêdo
Marques Gouveia

Wibys Pereira Santos
de Oliveira

UFMS

Coordenador
Peter B. Cheung

Equipe
Carlos Nobuyoshi Ide

Marcel L. Pierezan

Carlos A. Salles

Daniel Dassan

Alexandre B. Gealh

Taís Arriero Shinma

Paulo J. A. de Oliveira

IPT

Coordenador do projeto
Wolney Castilho Alves

Equipe
Luciano Zanella

Maria Fernanda Lopes
dos Santos

Daniel Setrak Sowmy

Abrão Garcia
de Oliveira Júnior

Sidney Castilho Alves

Luiz Antônio de Souza

Werica Cardoso Soares

Hugo Orlando Vaz Perez

Melissa Revoredo Braga

Aline Chieka Jo

Ana Claudia Mondani

Conrado Liao Corrêa da Silva

Oliver Sototuka Schujmann

Patrícia Aguiar Pimentel

Reginaldo Cirino da Silva

Vânia Gomes de Oliveira

UFSC

Coordenador
Luiz Sérgio Philippi

Equipe
Maria Elisa Magri

Madelon Rebelo Peters

Fabiane Nóbrega

Carla Suntti

Hugo Ricardo Melilo

Kátia Moreira de Souza Melo

Letícia Rabelo

Joceli Gorresen Zaguini Francisco

Fernando Resende Fenelon

Karina Lopes Joussef

Taísa Sandoli Rossetto

Natália Battistella

João Luiz Annes Ghisleni

Djesser Zechner Sergio

Sumário

1 **Introdução**

1.1 Água e energia nos dias de hoje
1.2 O ciclo urbano da água em questão
1.3 Saneamento sustentável: visões do futuro
1.4 A rede 5 do Prosab 5
Referências bibliográficas

2 **Consumo de água**

2.1 Conceitos básicos e terminologia
2.2 Aspectos quantitativos em escala macro
2.3 Aspectos quantitativos em escala meso
2.4 Metodologias para avaliar as perdas reais em sistemas coletivos de abastecimento de água
2.5 Aspectos quantitativos em escala micro
2.6 Experiência do Prosab sobre estudos de consumo de água em edificações
Referências bibliográficas

3 **Consumo de Energia**

3.1 Consumo de Energia: conceitos
3.2 Grandezas e Unidades
3.3 Cálculo do custo da energia elétrica
3.4 Consumo de energia em sistemas públicos
3.5 Consumo de energia em sistemas prediais
3.6 Perdas e indicadores de consumo de energia em sistemas públicos
3.7 Perdas e indicadores de consumo de energia em sistemas prediais
3.8 Experiências da rede temática 5 do Prosab 5
Referências bibliográficas

4 **Tecnologias de conservação em sistemas públicos**

4.1 Diagnóstico hidroenergético de sistemas públicos

4.2 Ações estruturantes para a diminuição do consumo de água e energia

4.3 Ações não estruturantes para a diminuição do consumo de água e energia

Referências bibliográficas

5 **Tecnologias de conservação em sistemas**

5.1 Conceitos e informações preliminares

5.2 Programas de conservação de água em edificações

5.3 Estudos e aplicações de tecnologias de conservação

5.4 Experiências do Prosab no desenvolvimento de tecnologias de conservação de água em edificações

Referências bibliográficas

6 **Perspectivas futuras: água, energia e nutrientes**

6.1 Sobre a racionalidade das práticas de saneamento atuais

6.2 Importância do setor saneamento e lacunas a serem preenchidas

6.3 A sustentabilidade do setor saneamento

6.4 Instrumentos de análise da sustentabilidade ambiental

6.5 Gestão da demanda de água

6.6 Uso racional da água nos sistemas de saneamento

6.7 Saneamento descentralizado

6.8 Uso racional da água predial, conhecimento do consumo domiciliar e predial

6.9 Fontes alternativas de água com menor impacto ambiental: Captação direta de água de chuva e de aquíferos locais

6.10 Segregação de correntes visando ao máximo reúso

6.11 Soluções sem veiculação hídrica; a retirada da água como transportador de dejetos

6.12 Energia no setor saneamento

6.13 O ciclo dos nutrientes e o saneamento

6.14 Aspectos culturais

6.15 Conclusão

Referências bibliográficas

1 Introdução

Ricardo Franci Gonçalves, Eduardo Pacheco Jordão, Gilberto Januzzi

1.1 Água e energia nos dias de hoje

É crescente a preocupação com a preservação de recursos hídricos e energéticos, especialmente sua disponibilidade para as gerações futuras. Questões como acesso à energia e serviços de abastecimento de água fazem parte das necessidades básicas da população. Ao mesmo tempo avolumam-se as evidências dos impactos decorrentes do contínuo uso desses recursos sem uma gestão adequada que busque garantir aspectos de sustentabilidade e qualidade da água e da energia fornecida.

O crescente consumo de energia no mundo, impulsionado mais recentemente pelo crescimento acelerado dos países emergentes, vem aportando impactos significativos na economia em escala global. A escalada do consumo repercute no custo da energia, impactando de maneira generalizada o preço de diversos produtos essenciais para a vida moderna.

Os esforços para conservar água e energia podem ser vistos como complementares e sinérgicos, especialmente quando se analisam os sistemas públicos de abastecimento de água. Cerca de 3% do consumo nacional de eletricidade é destinado ao setor de abastecimento de água e tratamento de esgotos e, desse total, mais de 90% da energia destina-se ao uso de motores e bombas. Esses equipamentos, muitas vezes sobredimensionados e obsoletos, operam frequentemente durante os horários de pico. Isso, aliado também às altas perdas de água verificadas em quase

a totalidade das companhias de abastecimento, contribui para onerar tarifas de água e energia elétrica.

Recentemente os maiores investimentos têm sido realizados em procedimentos para redução de perdas físicas e metodologias para monitoramento do sistema de distribuição de água por meio do acionamento de motores com rotação variável e/ou válvulas de controle. Ainda são reduzidos os estudos que procuram caracterizar e identificar potenciais para modificar o padrão de uso final da água, reduzindo desperdícios ou introduzindo equipamentos mais eficientes de uso final. A proposta desse livro é justamente discutir tais aspectos tendo como base as pesquisas realizadas no âmbito da Rede Temática 5, formada pelo quinto edital do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (Prosab).

1.2 O ciclo urbano da água em questão

As preocupações atuais com os recursos hídricos e energéticos, manifestadas nos principais fóruns especializados ou não e nos principais veículos de informações em todo o planeta, decorrem de importantes desequilíbrios no ciclo urbano da água. Uma vez que esse ciclo nada mais é do que uma fração de um ciclo maior, que é o ciclo da água na natureza, os desequilíbrios localizam-se de forma ampla e sistêmica.

A sustentabilidade da água está colocada na pauta de discussão mundial como um grande desafio da atualidade e que deve se agravar nas próximas décadas. No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei 9433/97, estabelece entre seus objetivos *"assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos".* Não obstante, aumentam de maneira rápida as regiões e os países onde o desenvolvimento econômico, o crescimento populacional e o surgimento de enormes aglomerados urbanos exercem grande pressão sobre os recursos hídricos. A ausência de estruturas e sistemas de gestão adequados, aliados a padrões culturais incompatíveis, deixam milhões de pessoas sem o adequado acesso à água e intensificam os conflitos de uso, além de promoverem a degradação do recurso.

Por se tratar de um fenômeno global, essa é também uma realidade brasileira: apesar da grande disponibilidade bruta de recursos hídricos no país, diversas regiões se encontram atualmente sob estresse hídrico. Tanto quanto em outras regiões do mundo, a escassez pode ser de origem quantitativa, decorrente de períodos de maior escassez hídrica, ou de origem qualitativa, resultante, por exemplo, de modificações da qualidade da água pela poluição.

Nesse cenário, assumem especial importância as ações objetivando a ampliação da cobertura dos serviços de abastecimento água e de esgotamento sanitário, dentre os quais se inserem os programas voltados para o incremento da eficiência no uso da água. Em 2006, cerca de 1,1 bilhão de pessoas não tinham acesso a água potável e 2,6 bilhões careciam de soluções racionais para disposição de excretas no mundo (UNDP, 2006). No Brasil, em 2006, o índice de cobertura com abastecimento de água era de 93,1% e o de esgotamento sanitário de 48,3%, dos quais, 32,2% com tratamento (BRASIL, 2007). Entre os objetivos do milênio, a Organização das Nações Unidas (ONU, 2005) incluiu como meta a redução, até 2015, dos índices de falta de cobertura à metade dos que eram observados em 2000. No Brasil, o Plano Plurianual do Governo Federal estabeleceu a meta de universalização dos serviços de saneamento no ano de 2015.

Outro aspecto de especial relevância refere-se às mudanças climáticas resultantes do aquecimento global. Importantes modificações no regime de precipitações na escala global se encontram em curso, causando impacto direto nos recurso hídricos disponíveis (STEDMAN, 2009). De maneira geral prevê-se um aumento de eventos extremos, tais como precipitações intensas com inundações em algumas regiões do planeta e secas em outras.

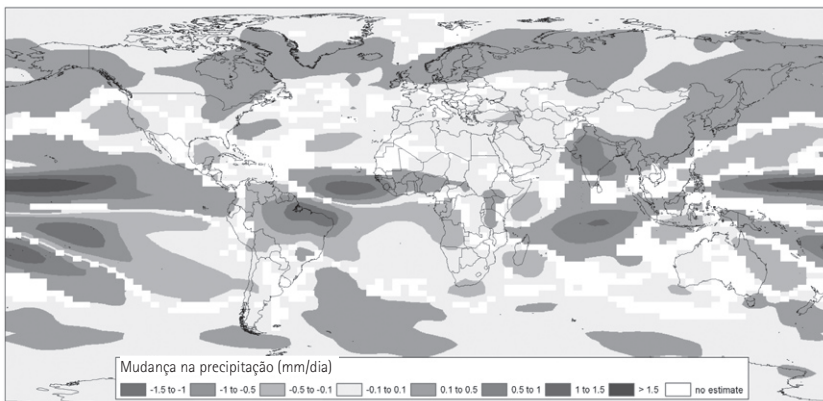
Estudos coordenados pelo Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC - indicam importante diminuição da precipitação pluviométrica na América do Sul até o ano de 2030, com especial redução na região Nordeste do Brasil (Figura 1.1). Embora no estágio atual as ferramentas de previsão não sejam suficientemente precisas para uso em planejamento, em decorrência de tais mudanças, os principais fóruns mundiais do setor de saneamento atentam para a necessidade de uma gestão cuidadosa da infraestrutura existente e do planejamento adequado dos projetos futuros, tendo como foco a adaptação social e ecológica.

FONTE: IPCC (2007)

Figura 1.1 Previsão do comportamento da precipitação pluvial anual para o mundo no ano de 2030

Para o IPCC, as ações de planejamento devem ser mais flexíveis perante os cenários desenhados para o futuro próximo, uma vez que não existe tecnologia de saneamento (abastecimento de água, esgotamento sanitário e gerenciamento de águas pluviais) imune aos efeitos das mudanças climáticas.

O Capítulo 2 da presente obra aborda os principais conceitos referentes aos usos da água, seja na escala das edificações, seja nos sistemas públicos de abastecimento. Uma abordagem preliminar das principais tecnologias usadas na conservação de água e energia é realizada. No Capítulo 3 o leitor encontrará os fundamentos do tema "energia", assim como informações sobre classificação de consumidores, tarifação e quantificação da energia consumida. A aplicação de tais conceitos aos sistemas de distribuição de água, tanto públicos quanto prediais, é realizada. Finalmente, apresentam-se alguns exemplos de produtos desenvolvidos no âmbito da rede 5 / Prosab 5.

1.2.1 A água e a energia nos sistemas públicos de abastecimento

O setor que exerce o maior consumo de água doce no planeta é a agricultura, devido à contínua expansão da fronteira agrícola e ao desperdício, sendo responsável por aproximadamente 70% do consumo total. É do conhecimento geral a ineficiência do uso da água na agricultura, cujo desperdício é estimado de cerca de 60% da água fornecida ao setor. Em segundo lugar vem o consumo doméstico, com 23%, aumentando numa média de 4% por ano desde a década de 1990, seguido da indústria, com um consumo de água de cerca de 7% (TERPSTRA, 1999).

A média das perdas de água reais e aparentes nos sistemas públicos de abastecimento no Brasil é de aproximadamente 40% do volume total produzido (Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS). Associado a esse importante volume de água perdido ao longo das atividades de captação, tratamento, transporte e distribuição, encontra-se um significativo desperdício de energia necessária ao transporte da água.

Estima-se que de 2% a 3% do consumo de energia do mundo ocorram em sistemas urbanos de abastecimento de água, sendo o bombeamento de água responsável por cerca de 90% a 95% do total. A energia é necessária para mover a água através dos sistemas de água municipais, fazendo com que cada litro de água consumido também represente um consumo específico de energia. Embora o consumo energia elétrica seja muito variável dependendo do sistema de abastecimento considerado, TSUTYIA (2001) apresenta um índice médio de referência de 0,6kWh/m^3 de água produzida.

Para dar uma idéia do peso do setor de saneamento brasileiro, apesar do importante déficit de cobertura dos serviços de abastecimento de água e, em especial de esgotamento sanitário, no ano de 2008 o consumo total de energia elétrica dos prestadores de serviços do setor aproximou-se de 10 bilhões de kWh/ano (PROCEL SANEAR, 2008).

Em termos econômicos, a energia elétrica representou em média 12,2% das despesas totais das empresas prestadoras de serviços de saneamento, tendo sido o segundo maior item de dispêndio (o primeiro foram as despesas com recursos humanos) (ELETROBRÁS PROCEL, 2005).

Tendo em vista que o consumo de energia elétrica apresenta relação direta com as quantidades de água consumidas em uma cidade, fica evidente o interesse dos programas de conservação de água (e de energia). Ademais, os sistemas de abastecimento não são estanques, o que torna o gerenciamento de perdas de água um assunto estratégico para a sociedade como um todo e, em especial, para os prestadores de serviços de saneamento. Portanto os vazamentos, os furtos, os desperdícios do consumidor e a distribuição ineficiente afetam diretamente a quantidade de energia necessária para fazer a água chegar ao consumidor. Assim, as atividades implementadas para economizar água e energia podem ter um impacto maior se planejadas conjuntamente.

Os programas voltados para o controle de perdas em sistemas de abastecimento não deixam de ser parte da gestão integrada dos recursos hídricos. Tais programas têm foco específico os sistemas de abastecimento, mas, por sua natureza, atingem um contexto mais amplo por obterem resultados importantes na conservação da água na escala da bacia hidrográfica (MIRANDA, 2002). Também assumem importância estratégica, na medida em que reduzem o consumo energético do setor de saneamento, diminuindo concomitantemente sua dependência pelo insumo "energia elétrica". Trata-se de um assunto de especial interesse do setor no Brasil, que entrou na pauta dos assuntos estratégicos particularmente após a crise de suprimento de energia elétrica de 2001.

Os principais aspectos relacionados com o consumo de energia nos sistemas públicos de abastecimento são o objeto de discussão do Capítulo 4 da presente obra. Nele são discutidos os fundamentos e as principais tecnologias envolvidas no diagnóstico hidroenergético de sistemas públicos de abastecimento de água. As principais ferramentas tecnológicas para a melhoria de desempenho de sistemas públicos de abastecimento, desenvolvidas com base na rede temática 5 do edital Prosab 5, são apresentadas.

1.2.2 A água e a energia nas edificações

Os sistemas prediais de água e de energia podem se referir a edificações dos setores residencial, comercial ou público. Edificações com ocupação predominante de escritórios, tais como prédios comerciais e públicos, apresentam comportamento de água e de energia elétrica similares, o que não ocorre com relação aos edifícios residenciais.

Segundo Gonçalves (2006), o consumo de água residencial pode constituir mais da metade do consumo total de água nas áreas urbanas. Na região metropolitana de São Paulo, o consumo de água residencial corresponde a 84,4% do consumo total urbano

(incluindo também o consumo em pequenas indústrias). Na cidade de Vitória, a porcentagem desse consumo é bem similar, correspondendo a aproximadamente 85% desse total (RODRIGUES, 2005).

O consumo de água residencial inclui tanto o uso interno quanto o uso externo às residências. As atividades de limpeza e higiene são as principais responsáveis pelo uso interno, enquanto o externo deve-se à irrigação de jardins, lavagem de áreas externas, lavagem de veículos e piscinas, entre outros. Estudos realizados no Brasil e no exterior mostram que dentro de uma residência o maior consumo de água concentra-se na descarga dos vasos sanitários, na lavagem de roupas e nos banhos. Em média, 40% do total de água consumida em uma residência são destinados aos usos não potáveis.

Estudos de caracterização do consumo de água em edificações são relativamente escassos no Brasil, sobretudo quando se considera que os padrões de consumo se modificam ao longo dos anos. Apesar do surgimento recente de alguns programas voltados para a conservação de água nas edificações, a relação entre o consumo de água e o consumo de energia atrelado à água nas edificações não foi ainda objeto de estudo no país. Sabe-se, entretanto, que os padrões tecnológicos dos sistemas e equipamentos instalados nas edificações, bem como as suas características arquitetônicas, o clima da região e o grau de consciência dos usuários para o uso racional da energia, exercem influência direta na sua eficiência energética (PROCEL ELETROBRÁS, 2001).

Um estudo detalhado dos usos finais de água em um edifício, realizado pela equipe da Universidade Federal do Espírito Santo por meio do edital Prosab 5, mostrou a contribuição do consumo de eletricidade em bombas de recalque (8% do consumo total do edifício) e o impacto devido à reciclagem de parte da água utilizada pelos moradores. Comparando dois edifícios similares, o estudo mostrou que enquanto um edifício convencional consome 1,40 kWh/m^3, o edifício dotado de sistema de reúso de água consome 62% desse valor. Maiores análises são necessárias, no entanto, para entender as implicações da disseminação dessas práticas incluindo inclusive os gastos energéticos das estações de tratamento de esgoto. Ficou evidente nesses estudos a dificuldade de caracterização da demanda de água segundo diversos usos finais e várias estimativas de potencial de redução do consumo, seja pela diminuição de desperdícios ou com a introdução de tecnologias mais poupadoras de água.

Em que pesem o cenário atual e os padrões construtivos vigentes por décadas no Brasil, uma tendência nítida do setor da construção civil habitacional é a construção de edifícios sustentáveis, conceito decorrente da intensificação sobre o debate sobre o desenvolvimento sustentável do planeta. Uma nova geração de edifícios surge principalmente países industrializados, focando a melhoria da qualidade de vida do usuário final e a qualidade do ambiente. Trata-se dos *green buildings* ("edifícios verdes"), que

apresentam características que potencializam a eficiência ambiental da edificação, destacando-se o uso racional da água e a conservação da energia.

Soluções como estas exigem uma profunda revisão do uso da água nas residências, tendo como meta primária a redução do consumo de água potável e como metas secundárias reduzir a produção de águas residuárias e minimizar o consumo de energia elétrica na edificação. Atualmente, critérios de etiquetagem ou selos verdes vêm sendo atribuídos a edifícios como mecanismo de incentivo à eficiência energética, sendo considerado um diferencial importante no segmento. O consumo de águas de qualidades diferentes, que atendam aos usos potáveis e aos não potáveis, deve ser incorporado às ações de conservação. O consumo de água não potável em áreas urbanas e em edificações reduz proporcionalmente o consumo de água bruta que seria captada para efeito de potabilização. Permite assim a sua disponibilização para demandas que não seriam atendidas sem a ação conservacionista. Não obstante, há que se destacar a inexistência nos dias de hoje de legislação, normalização ou conhecimento consensualmente aceito no meio técnico brasileiro para classificação qualitativa das águas para usos não potáveis.

Por fim, as pesquisas realizadas pelo Prosab obedecem ao princípio geral de que a conservação de água deve implicar em benefícios líquidos positivos. Isto significa que qualquer ação ou programa de conservação só é viável se, ao final de um balanço entre os custos e os benefícios, os resultados forem favoráveis. Como exemplo pode ser citada a experiência com o reúso de águas cinza em uma edificação residencial em Vitória-ES. Os resultados indicam que a economia de água rende benefícios superiores aos custos suplementares relacionados com o consumo de energia referentes ao funcionamento do sistema de tratamento e bombeamento da água de reúso.

O Capítulo 5 deste livro enfoca as principais tecnologias envolvidas no gerenciamento de água e de energia nas edificações modernas, tendo como objetivo a sustentabilidade ambiental. Nele são apresentados modelos de programas de conservação em edifícios, inclusive com as principais tecnologias usadas na conservação. Como ferramentas de conservação de água na escala das edificações, o reúso de águas cinza e o aproveitamento de águas pluviais são enfocados com base nas pesquisas realizadas pelo Prosab.

1.3 Saneamento sustentável: visões do futuro

As pesquisas realizadas pela rede 5 do Prosab indicam que a rota para a sustentabilidade ambiental do saneamento básico pressupõe uma importante mudança dos conceitos e das práticas hoje vigentes. Entretanto, como é discutido ao longo de todo o Capítulo 6 deste livro, o processo de adaptação às mudanças climáticas do setor de saneamento em várias regiões do planeta (inclusive no Brasil) tende a agravar o problema. As ações

prevendo o deslocamento de água através de distâncias cada vez maiores e a dessalinização em larga escala, por exemplo, ampliarão o consumo de energia.

Embora as ações relacionadas com o saneamento ecológico sinalizem para um futuro mais racional no que se refere ao uso da água, da energia a ela relacionada, e à ciclagem dos nutrientes, é evidente que as soluções de larga escala ainda estão muito aquém do desenvolvimento necessário para a sua implementação como um novo paradigma (OTTERPOHL *et al.*, 2003). Não obstante, ganhos de eficiência no uso da água e da energia a ela associada devem integrar as metas atuais e futuras de desenvolvimento do setor de saneamento, tendo como foco tanto a parte pública dos sistemas de abastecimento como as edificações em geral.

Os flancos de pesquisa e desenvolvimento são inúmeros, envolvendo, por exemplo, as soluções descentralizadas de saneamento na escala coletiva e as mudanças de comportamento e a modernização de equipamentos na escala das edificações. A aceitação do uso de águas não potáveis nas cidades e nas edificações, reduzindo gastos de recursos financeiros, materiais e energéticos, pressupõe o desenvolvimento de arcabouços legais e de novos modelos de operação descentralizada de sistemas de saneamento. Inserem-se nesse panorama o aproveitamento da água pluvial e a segregação das correntes de água em função das suas características, para se ampliar as possibilidades de reúso e de substituição por novas fontes. A retirada gradativa da água como meio de transporte dos *excreta* é um desafio para a engenharia sanitária de todos os países, tendo em vista os benefícios que poderão resultar em termos de preservação dos recursos hídricos e de ciclagem de importantes nutrientes para a agricultura.

Para um maior aprofundamento de tais aspectos, recomenda-se a leitura do Capítulo 6 deste livro. Lá o leitor encontrará uma discussão sobre a necessidade de mudanças tecnológicas e comportamentais radicais, seja na escala coletiva dos sistemas públicos, seja na escala das edificações, numa perspectiva de médio e longo prazo.

1.4 A rede 5 do Prosab 5

O edital 5 do Prosab apresentou como tema central da rede de pesquisas cooperativas nº5 a *"Racionalização do uso da água e conservação de energia em sistemas de abastecimento públicos e em edificações, por meio da redução do consumo, reaproveitamento de fontes alternativas e outras formas de uso racional da água".* Em comparação ao edital anterior do Prosab, a rede de pesquisas cooperativas nº5 experimentou um crescimento em termos da quantidade de instituições integrantes e da sua abragência regional.

Os trabalhos desenvolvidos no âmbito da rede 5 tiveram duas vertentes principais: 1) estudar e propor sistemas para melhor aproveitamento de águas de chuvas e reúso,

incluindo análises de usos finais de água em habitações (projetos de pesquisa da UFES, do IPT-SP, da UFSC e da UFBA); e 2) contribuições para melhorias em metodologias de gestão e monitoramento de sistemas de abastecimento coletivo de água (projetos de pesquisa da Unifei, da UFPB e da UFMS).

Figura 1.2 Edifício com reúso de águas cinza (Vitória-ES)

O projeto de pesquisa realizado pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), sob coordenação do professor Ricardo Franci Gonçalves, teve como objetivo principal o desenvolvimento de soluções para gerenciamento de águas amarelas e negras e aprimorar o desenvolvimento tecnológico iniciado pela UFES no edital Prosab 4 / rede 5 sobre o gerenciamento de águas cinza em edificações urbanas no Brasil. De maneira mais específica a equipe da UFES estudou, por meio de dois subprojetos, o gerenciamento de águas amarelas e águas negras em uma edificação educacional e a eficiência de um sistema de reúso de águas cinza na conservação de água e energia em uma edificação residencial (Figuras 1.2, 1.3 e 1.4).

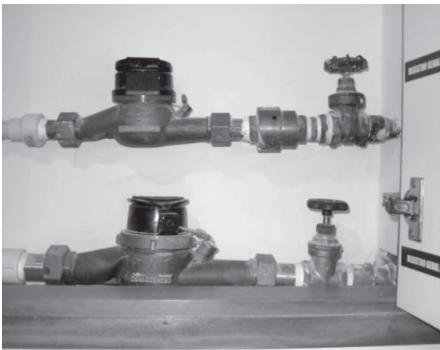



Figura 1.3 Setorização do consumo no edifício com reúso

Figura 1.4 Estação de tratamento de água cinza no edifício com reúso

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo, coordenado pelo professor Wolney Castilhos Alves, concentrou-se no desenvolvimento de alternativas de aproveitamento de águas de chuva. Buscou descrever e caracterizar soluções alternativas

de sistemas prediais de aproveitamento de águas de chuva envolvendo o projeto arquitetônico, os componentes de instalações prediais de captação, condução, reservação e de tratamento dessas águas, bem como estabelecer medidas visando à utilização desses sistemas segundo padrões sanitários seguros, com particular destaque para a presença de microorganismos patogênicos e sua eliminação.

Figura 1.5 Água de chuva de telhado (Ceagesp)

Figura 1.6 Sistema de aproveitamento de água de chuva no IPT-SP

Figura 1.7 Limpeza com água de chuva

Sob a coordenação do professor Luiz Sérgio Phillippi, o projeto de pesquisa da Universidade Federal de Santa Catarina teve como objetivo geral o desenvolvimento e avaliação de fontes alternativas de água para fins potáveis e não potáveis, visando à conservação desse recurso em edificações unifamiliares e coletivas. Estudou de forma específica um sistema de aproveitamento de água de chuva para consumo humano, caracterizando a qualidade da água de chuva e apontando a potencialidade para aplicação em usos "menos nobres" como lavagem de roupas e correlatos. Visou ainda quantificar a água cinza gerada em diferentes unidades hidrossanitárias, com vistas à sua reutilização em descarga de vaso sanitário e rega de jardim.

Figura 1.8 Residência onde foi realizada a pesquisa, Florianópolis-SC

A Universidade Federal da Bahia, por meio do projeto de pesquisa coordenado pelo professor Asher Kiperstok, investigou alternativas para a racionalização do uso da água e seu reúso em residências e edifícios públicos. O projeto de pesquisa estudou o *design* para sanitários públicos visando à redução do consumo de água e da separação de urina, a segregação das correntes de mictório e vaso de dois sanitários masculinos e caracterizou essas correntes do ponto de vista de nutrição vegetal; avaliou o comportamento dos nutrientes, do pH e da condutividade elétrica na urina armazenada pura e diluída; verificou a eficiência das correntes segregadas como solução nutritiva para hidroponia e o processo de absorção do nitrogênio para cultivo de mudas hidropônicas de helicônia.

Figura 1.9 Sistema de aproveitamento de água de chuva

Figura 1.10 Tratamento de águas cinza para reuso

No grupo de projetos de pesquisas que se dedicou ao desenvolvimento de soluções tecnológicas para a o controle de perdas e a redução do consumo de energia em sistemas de abastecimento, o projeto da Universidade Federal de Itajubá (Unifei), sob a coordenação do professor Benedito Cláudio da Silva, avaliou a eficiência na distribuição e no uso da água, sob os aspectos de perdas volumétricas e energéticas. Enfocou o uso de bombas com rotação variável instaladas na rede de distribuição de água operando segundo estratégias inteligentes. Foi realizado um estudo de caso na cidade de Poços de Caldas, conforme parceria estabelecida como o Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE).

Figura 1.11	Avaliação de *design* para sanitários públicos

Figura 1.12	Sistema de coleta de urina nos mictórios de banheiros masculinos

Figura 1.13	Cultivo de *heliconia dwarf* em casa de vegetação na EPUFBA

Figura 1.14	Casa de máquinas da estação elevatória Vista Verde

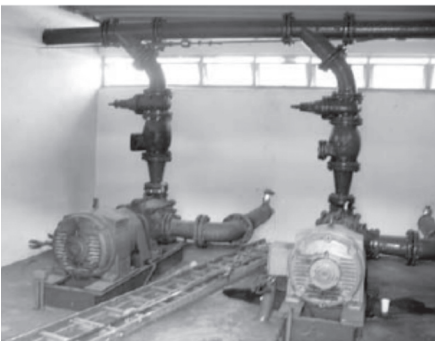



Figura 1.15	Estação de bombeamento do Jardim dos Estados

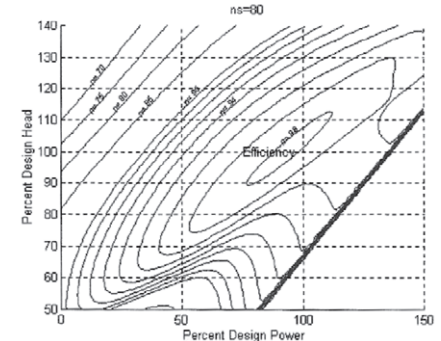



Figura 1.16	Campo básico representação das turbinas Francis com ns = 80

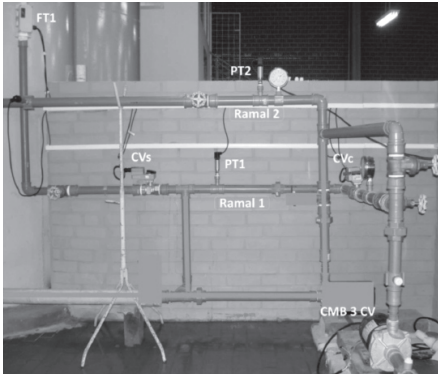



Figura 1.17 Bancada experimental de distribuição de água

O projeto de pesquisa da Universidade Federal da Paraíba, coordenado pelo professor Heber Pimentel Gomes, buscou o desenvolvimento de um sistema de controle, com técnica Neurofuzzy, para operação racional de sistemas de distribuição de água. A ferramenta computacional desenvolvida tem como finalidade automatizar a tomada de decisão na operação dos sistemas de distribuição, indicando as ações referentes ao estado dos conjuntos motor-bomba (frequência) e das válvulas redutoras de pressão (aberta, fechada ou parcialmente aberta), em tempo real. Com isso as decisões das manobras dos equipamentos passam a ser orientadas a partir de uma lógica computacional, sendo escolhida, a cada instante, aquela que apresentar o menor consumo de energia elétrica e a melhor distribuição das pressões na rede de distribuição, acarretando na redução das perdas de água no sistema.

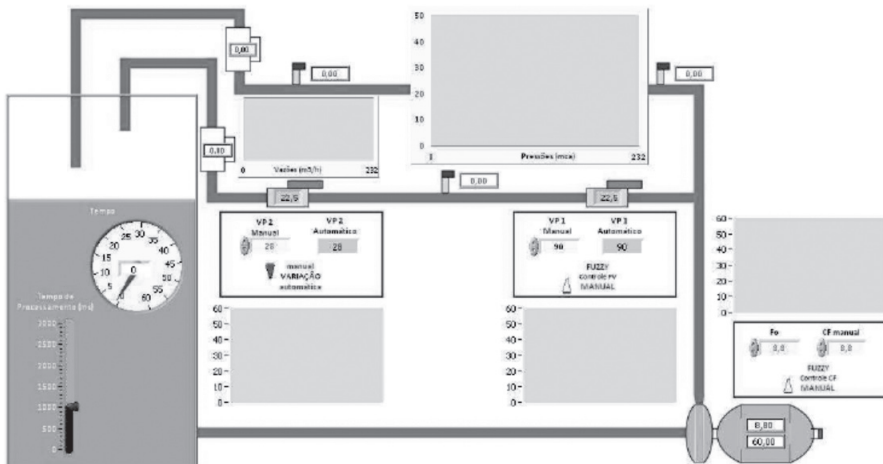



Figura 1.18 Imagem do Sistema de Controle (supervisório)

Figura 1.19 Área urbana onde foi realizada a pesquisa

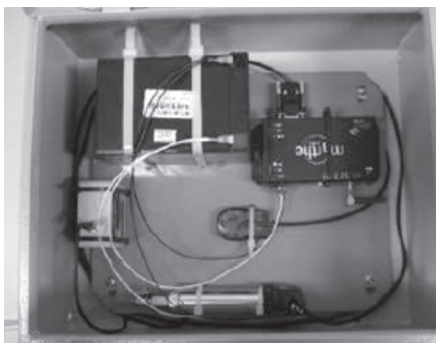



Figura 1.20 Protótipo de remota desenvolvido pela UFMS

Figura 1.21 Instalação de tubo de Pitot na rede

Finalmente, o professor Peter B. Cheung foi o coordenador do projeto de pesquisa da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), cujo objetivo geral deste projeto foi desenvolver produtos tecnológicos (programas computacionais) que sirvam de facilitadores para o gerenciamento eficiente de perdas em sistemas urbanos de distribuição de água. O projeto de pesquisa concentrou-se especificamente na investigação das relações existentes entre perdas reais e consumo de energia elétrica nos sistemas urbanos de distribuição e abastecimento de água; realizou análises críticas dos modelos matemáticos que quantificam as perdas reais em sistemas de distribuição de água; levantou os produtos tecnológicos existentes no mercado e as práticas convencionais de controle e de gerenciamento de perdas em sistemas urbanos e comparando-as com as relações teóricas levantadas; estabeleceu valores de referência para modelos matemáticos que simulam as perdas reais em sistemas de distribuição de água.

1.5 Referências bibliográficas

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos*, 2006, v.1. Brasil, 2007.

ELETROBRÁS. Procel. *Plano de ação Procel Sanear, 2006/2007.* Brasil, 2005.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). *Uso racional da água em edificações.* Rio de Janeiro: Abes, 2006..

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate *Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.* Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson, Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.

MIRANDA, E.C.*Avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água – Indicadores de perdas e metodologias para análise de confiabilidade.*2002. 201 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil, Brasília, DF.

OTTERPOHL, R; BRAUN, U; OLDENBURG, M. Innovative technologies for decentralized water, wastewater and biowaste management in urban and peri-urban areas. *Water Science and Technology,* v. 48, n. 11-12, p. 23–32, 2003.

PROCEL ELETROBRÁS. *Orientações Gerais para Conservação de Energia Elétrica em Prédios Públicos.* Rio de Janeiro: Primeira Ed. Rio de Janeiro, 2001.

PROCEL SANEAR. *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica no Setor de Saneamento.* Disponívelem: <http://www.eletrobras.com/procel/site/areadeatuacao/saneamento>. Acesso em: 15 ago., 2008.

RODRIGUES, L. C. S. *Avaliação da eficiência de dispositivos economizadores de água em edifícios residenciais em Vitória-ES.* Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

STEDMAN, L. The climate change water data deficit. *Water*, 21, p. 17–20, fev. 2009.

TERPSTRA, P.M.J. Sustainable water usage systems – Models for the sustainable utilization of domestic water in urban areas. *Water Science & Technology,* v. 39, n.5, p. 65–72, 1999.

TSUTYIA, M. T. *Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água.* São Paulo: Abes, 2001.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Millennium Project. *Investing in development: a practical plan to achieve the Millennium Development Goals.* Nova York, 2005.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. UNDP. *Human development report, beyond scarcity: power, poverty and the global water crisis.* [S.l.], 2006.

2 Consumo de água

Peter B. Cheung, Asher Kiperstok, Eduardo Cohim, Wolney Castilho Alves, Luiz S. Philippi, Luciano Zanella, Narumi Abe, Heber P. Gomes, Benedito C. da Silva, Mônica Pertel, Ricardo Franci Gonçalves

Neste capítulo são abordados conceitos relativos aos usos da água sob o pano de fundo da sustentabilidade ambiental, considerados os âmbitos do edifício e dos sistemas públicos de abastecimento do meio urbano. Apresentam-se diretrizes e linhas de ação sob as quais a conservação de água e da energia a ela associada podem ser exploradas, mostrando-se os parâmetros mais relevantes. São apresentados dados básicos sobre o consumo de água, exemplos de situações já analisadas e de experimentos em curso.

Tecnologias usadas na conservação de água e energia são apresentadas em caráter preliminar a título de ilustração. O aprofundamento de conceitos e a descrição de tecnologias encontram-se nos capítulos subsequentes.

2.1 Conceitos básicos e terminologia

O conceito da utilização racional e integrada dos recursos hídricos, consoante objetivo da Política Nacional de Recursos Hídricos, é adotado no presente livro. Entretanto, a integração abrange campos de aplicação mais específicos, enquadrados na engenharia de recursos hídricos, embora não tenham sido tradicionalmente nela aprofundados. Assim, faz-se necessário um esforço no sentido de ampliar conceitos e termos de forma harmônica e uniforme. Nesse sentido a uniformização terminológica deve ser buscada e, no presente texto, trata-se desse aspecto adotando os conceitos e termos já consagrados no campo dos recursos hídricos adicionados daqueles mais especifi-

ca e apropriadamente adotados nos campos do saneamento ambiental, do ambiente construído e de suas edificações.

No que se refere ao gerenciamento dos recursos hídricos, observando os preceitos da gestão integrada, adotam-se três níveis de abordagem ou intervenção, segundo a compartimentação proposta por Oliveira (1999) *apud* Gonçalves (2006) (Figura 2.1).

Tradicionalmente a engenharia de recursos hídricos se detém com maior atenção e particularização ao nível macro e às quantidades de água a esse nível associado, considerando as regiões e as bacias hidrográficas. Quanto aos usos múltiplos, no nível macro, uma especial importância é dada à disponibilidade e à demanda segundo os respectivos usos ou grupos de usuários, embora o sistema de gerenciamento por bacia hidrográfica e respectivos órgãos de gestão tenham tornado possível identificar usuários de forma mais específica.

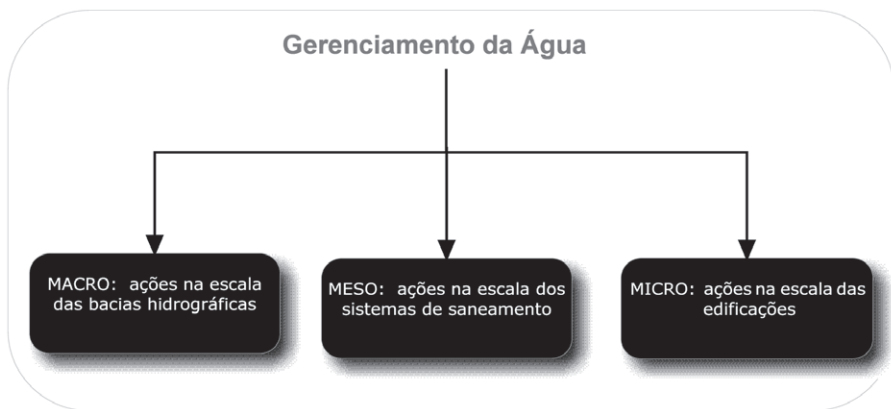
Nos níveis meso e micro se trabalha usualmente com uma particularização de fatores ou parâmetros mais apropriados a esses níveis. Assim é o caso dos serviços de saneamento básico, em que as quantidades e qualidades da água de um manancial estão especialmente vinculadas ao abastecimento de determinada ocupação urbana. Os regimes de operação de captação, tratamento e distribuição são detalhadamente descritos e calculados. Adicionalmente, as qualidades das águas envolvidas na prestação dos serviços de abastecimento e esgotamento sanitário são igualmente conhecidas em detalhe e monitoradas continuamente. Da mesma forma ocorre no âmbito das edificações, o conhecimento particularizado das estruturas dos sistemas prediais hidrossanitários e as qualidades das águas envolvidas têm grande importância, sendo objeto de controle, monitoramento e estudos detalhados.

FONTE: ADAPTADO DE GONÇALVES, 2006.

Figura 2.1 Ações de gerenciamento de água

Observam-se diferenciações importantes de terminologia entre os três níveis de compartimentação de gerenciamento citados. O primeiro deles diz respeito à magnitude das quantidades de águas com que cada nível trabalha, embora esse fator pareça ser de mais fácil apreensão e de menor consequência. Um segundo fator, esse de muito maior importância, refere-se às qualidades das águas. E, em decorrência, talvez seja importante introduzir o reconhecimento de que existem **águas** e não **água** e diferentes **qualidades** dessas **águas**. Esse reconhecimento parece ser de fundamental importância no estabelecimento de um entendimento e uma terminologia uniforme, pois, independentemente do nível de gerenciamento, o objeto central de interesse são essas águas em constante alteração de características, ou seja, evolução contínua de particulares qualidades.

Diante dessas considerações, cabe explicitar terminologias e conceitos consagrados ou em fase de consolidação para que o entendimento e as caracterizações se dêem sob bases uniformes.

Uso: é o emprego do recurso natural água na execução de um evento promovido pela ação humana ou é a participação desse recurso em fenômeno natural alterado por ação humana. Observe-se que essa definição não se aplica às quantidades de águas empregadas nos usos.

A seguir são apresentados alguns poucos exemplos de usos, segundo compartimentos antrópicos particulares, em que se denota a multiplicidade que caracteriza o uso das águas.

- Em corpos hídricos naturais e construídos: geração de energia elétrica, navegação (Figura 2.2), piscicultura, aquicultura, lazer, ornamentação e contemplação;
- no meio rural: irrigação de culturas agrícolas (Figura 2.3) e dessedentação de gado;
- na edificação industrial: refrigeração, incorporação em produtos, produção de vapor, limpeza de produtos e instalações, ingestão, preparação de alimentos, banho e demais formas de higiene pessoal e descarga de bacias sanitárias e mictórios;
- na edificação de uso residencial, também chamado de uso doméstico: ingestão, preparação de alimentos, banho e demais formas de higiene pessoal, lavagem de roupas, limpeza em geral, descarga de bacias sanitárias (Figura 2.4) e rega;
- na edificação voltada ao comércio e serviços: limpeza de instalações, ingestão, preparação de alimentos, banho e demais formas de higiene pessoal e descarga de bacias sanitárias e mictórios;

- no espaço público do meio urbano: rega de jardins, lavagens de ruas e outros logradouros, lavagem de veículos, balneários públicos e ornamentação;
- nos sistemas públicos de saneamento: captação e condução de água bruta de um manancial, tratamento de água bruta visando obter a qualidade de água potável, condução de água potável por meio das estruturas do sistema de abastecimento público, condução de esgotos (águas residuárias) por meio da rede de esgotamento sanitário, tratamento de águas residuárias e disposição de esgotos tratados em corpo receptor natural.

O emprego do recurso natural água pela ação humana pode se estender para ambientes não antropizados. É o caso da manutenção de vazão ou a manutenção de parâmetros da qualidade da água de um rio, lago ou represa que podem ser controlados pela ação humana, embora o uso em si seja a proteção de determinado ecossistema, por exemplo.

Considera-se que o uso da água se dá pela ação humana direta ou está indiretamente influenciada por esta. Em contextos onde há presença da água, mas não ocorre a intervenção direta ou indireta do homem a definição de uso não se aplica.

Figura 2.2 Uso da água (navegação) na escala macro (hidrovia Tietê–Paraná)

Figura 2.3 Uso da água (irrigação) na escala macro

Brasil (2006) classifica os usos em consuntivo e não consuntivo. Os usos consuntivos referem-se principalmente aos usos urbanos (doméstico e público), rural (comunidades), agropecuário e industrial. Esses são de particular interesse por consumirem a água disponível aos diversos usos. Pode-se depreender que essa classificação trabalha sobre a lógica subjacente de que o uso consuntivo suprime da bacia hidrográfica considerada determinada quantidade de água que compunha a disponibilidade superficial de água.

Daí esses usos serem considerados de particular interesse, pois diminuiriam a disponibilidade para os diversos usos a que se prestariam. Essa lógica não considera as possibilidades de retorno ou reintegração total ou parcial das águas à bacia hidrográfica, ou seja, recomposição parcial ou total da disponibilidade, considerados aspectos de qualidade. Esse fato ocorre sob diversas formas, sendo o exemplo mais comum a disposição de efluentes de estações de tratamento de esgotos em cursos naturais da própria bacia de onde a água que os originou foi captada. Os usos não consuntivos referem-se principalmente às atividades de hidroeletricidade, navegação, recreação e lazer, piscicultura e aquicultura. Essas atividades, apesar de não afetarem a disponibilidade quantitativa da água, podem ter efeitos sobre a qualidade e/ou sobre o regime de vazões do manancial.

Figura 2.4 Descarga de vaso sanitário

Cumpre observar que a tradição mais antiga e restrita de gerenciamento de recursos hídricos privilegiava aspectos relativos às quantidades de águas superficiais naturais disponíveis, negligenciando o binômio quantidade & qualidade, postura que vem sendo revertida na prática do gerenciamento das bacias hidrográficas, segundo o estabelecido na Lei 9433/1997 e nas Resoluções Conama 357/2005 e 396/2008.

Não obstante as considerações relativas à disponibilidade hídrica derivadas dos conceitos de usos consuntivos e não consuntivos, observa-se que a definição de uso aqui adotada não envolve quantidades de águas. A grandeza que mede a quantidade de água em determinado uso é o consumo, conforme se apresenta a seguir.

Consumo efetivo: é a quantidade de água utilizada na consecução de determinado uso, frequentemente expressa em termos de volume ou vazão. No consumo efetivo somente se quantifica o volume necessário para perfazer o uso considerando as condições ditadas pelas circunstâncias do momento ou período do uso. Entre essas circunstâncias destacam-se o tipo e condições das tecnologias disponíveis associados ao uso em questão, bem como as condições culturais relativas ao usuário.

Apresentam-se a seguir exemplos genéricos do consumo efetivo de água em usos diversos aludindo ao conceito da definição de consumo efetivo:

- 6,8 L por descarga de uma bacia sanitária disponível no mercado brasileiro, sob diversos modelos e marcas e que observe a norma brasileira NBR 15.097/2004;
- 30 L.pessoa.dia para o banho em chuveiro elétrico com duração de 10 minutos à vazão de 0,05 L.s;
- 0,3 L.m².dia para rega de plantas de um jardim. Trata-se da quantidade necessária e aproveitada pelas plantas em condições específicas de ocupação do solo pelos vegetais e em condições climáticas determinadas. O consumo efetivo não considera a permeação pelo solo que não é utilizada pelas raízes e a evaporação direta da superfície do solo;
- 110 L.hab.dia de água potável em usos diversos em uma residência. O número corresponde à soma dos consumos efetivos desses usos, em termos médios, por pessoa ao longo do tempo. Não estão computadas as perdas por vazamento no sistema predial, por evaporação evitável ou desperdícios associados à negligência ou deficiência de conhecimento e formação;
- 3.300 m³.ligação.dia de consumo efetivo de água potável. Corresponde ao suprimento de quantidade de água efetivamente consumida em 10.000 ligações prediais de residências em centro urbano cujo consumo efetivo *per capita* médio é de 110 L.hab.dia. Corresponde à reprodução do consumo médio *per capita* do item anterior em 10.000 residências. Observe-se que no consumo efetivo não estão computadas as perdas e desperdícios internos do sistema predial, bem como as perdas e os desperdícios no sistema público como um todo. Essa forma de partição de consumo, perda e desperdício não usual no Brasil, na qual os cômputos dessas grandezas são feitos principalmente pelo prestador público do serviço, mas não pelo usuário do sistema predial. Considerações mais abrangentes sobre a questão de perdas serão apresentadas em tópico seguinte dessa terminologia;
- 100 m³.s de vazão média a ser mantida em determinado rio para permitir navegação, manutenção do ecossistema aquático associado, pesca e recreação (não considerada a infiltração e evaporação).

É possível agregar características de eficiência ao consumo efetivo na medida em que uma menor quantidade de água perfaça as funções necessárias de determinado uso. Pode-se, assim, dizer que a descarga de uma determinada bacia sanitária moderna tem um consumo mais eficiente que uma antiga, pois promove a descarga com as mesmas características de desempenho, consumindo menos água.

Deve ser esclarecido, no entanto, que a classificação "eficiente" ou "ineficiente", ou ainda a adoção de uma escala ou um grau de eficiência, está condicionada ao uso segundo as circunstâncias relativas à tecnologia disponível ou ao comportamento do usuário, entre outras variáveis. Dessa forma, o consumo de água de uma bacia antiga, projetada para ser submetida à ação de descarga com 15 L, não pode ser considerado ineficiente se não houver condições de substituição da bacia antiga por uma mais moderna. O banho de chuveiro, por outro lado, é um uso que pode ocorrer de forma mais eficiente se o usuário concluir satisfatoriamente o seu banho em menos tempo. Uma consideração mais aprofundada sobre a quantidade necessária e a desejável é exposta no título "aspectos quantitativos em escala micro" na sequência deste texto.

Perda: é a quantidade de água prevista para a realização de um ou mais usos, mas que não é utilizada devido a deficiências técnicas, operacionais, econômicas ou de outro tipo. O conceito do termo deve levar em conta o período de tempo considerado aceitável para que a deficiência seja suplantada e possa ser exercida ação visando supressão ou minimização da perda. A definição deixa implícito que se trata de águas não utilizadas, reconhecidas como pertencentes a essa categoria, mas que não podem ser aproveitadas em um dado período, em função de limitações ou impossibilidades. Para reforço do conceito implícito na terminologia, poder-se-ia utilizar a expressão "perdas inevitáveis" em dado período no qual o agente responsável pela estrutura física não tem condições de corrigir o problema. Exemplos típicos são os vazamentos conhecidos que não podem ser suprimidos ou minimizados face à impossibilidade de acesso, inexistência de tecnologia adequada, inexistência ou insuficiência de recursos financeiros, entre outros motivos.

Há perdas, no entanto, intrínsecas a deficiências técnicas ou características tecnológicas inadequadas. No caso de sistemas prediais o caso mais notável de tecnologia que provoca perda de água e energia é o sistema de aquecimento central. Em edifícios de apartamento usualmente são sistemas centrais por unidade e em edifícios de uso integrado como hospitais, hotéis e outros, o sistema pode ser integralmente centralizado. O ajuste da temperatura da água nos pontos de uso (chuveiros, torneiras, etc.) de tais sistemas é usualmente feito por mistura de água quente e fria. Ocorre perda por duas razões: primeiro é necessário esperar até que a água quente chegue ao ponto de mistura e, em segundo lugar, o usuário tem que manobrar os registros de água quente e fria até que obtenha a vazão e a temperatura desejada. Trata-se, portanto, de tecnologia cuja concepção leva inevitavelmente a perdas e, em muitos casos, dada a impossibilidade de alterações, poder-se-ia falar em "perdas intrínsecas" ou "inevitáveis". É o caso de edifícios de aquecimento integralmente centralizado, sem recirculação de água quente, por exemplo. Em determinadas circunstâncias a reformulação do sistema pode ser financeiramente inviável dadas suas proporções.

As perdas podem também estar incorporadas no uso com consumo de baixa eficiência. O consumo ineficiente, conscientemente praticado, mas que não tem condições de ser alçado a uma classificação mais favorável pode ser classificado como perda. No caso do consumo ineficiente para a descarga de bacia sanitária antiga que não tem possibilidade de ser substituída por uma moderna, há uma perda implícita, numericamente igual à diferença de volume necessário para a descarga entre a bacia antiquada e a moderna.

Como mencionado anteriormente, não se estabeleceu no Brasil a prática de medir e atuar sobre as perdas por vazamentos em edificações. Trabalhos nesse sentido fazem-se necessários. Em pesquisa realizada sobre residências em diversos estados dos EUA, DeOreo (1999) chegou a perdas por vazamento de 13,7% do consumo total interno à edificação.

Na conjuntura brasileira atual as perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água potável ganharam maior expressão, embora não na proporção e com a eficácia necessária ao enfrentamento do problema dada a magnitude das perdas conhecidas. A International Water Association (IWA)[1] tem procurado classificar e padronizar as perdas de água pela composição de um balanço hídrico, conforme demonstrado pela Figura 2.5. Conceitualmente, as perdas de água são compostas por duas parcelas: real e aparente. As perdas reais estão associadas à parcela de água que não chega aos consumidores em função de vazamentos no sistema público de abastecimento. Sabe-se que há maior concentração das perdas de água ocorrem na distribuição, ou seja, ao longo das redes de distribuição de água, particularmente nos ramais prediais.

<table>
<tr><td rowspan="9">Volume Fornecido ao Sistema</td><td rowspan="4">Consumo Autorizado</td><td rowspan="2">Consumo autorizado faturado</td><td>Consumo Medido Faturado</td><td rowspan="2">Água Faturada</td></tr>
<tr><td>Consumo Não Medido Faturado</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Consumo Autorizado Não Faturado</td><td>Consumo Medido Não Faturado</td><td rowspan="7">Água Não Faturada (ANF)</td></tr>
<tr><td>Consumo Não Medido e Não Faturado</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Perdas de Água</td><td rowspan="2">Perdas Aparentes</td><td>Consumo Não Autorizado</td></tr>
<tr><td>Imprecisão nos Hidrômetros</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Perdas Reais</td><td>Vazamentos nas Adutoras e/ou na Rede de Distribuição</td></tr>
<tr><td>Vazamentos e Extravasões em Reservatórios</td></tr>
<tr><td>Vazamentos em Ligações até o Hidrômetro</td></tr>
</table>

FONTE: ADAPTADO DE FARLEY; TROW (2003)

Figura 2.5 Balanço Hídrico

Figura 2.6 Vazamento em reservatório (registro de limpeza)

Nas diversas estruturas físicas de escoamento e reservação de sistemas públicos de abastecimento, da captação ao usuário final, parcela considerável de água é perdida devido a diversos fatores, tais como vazamentos em reservatórios e ao longo das redes de distribuição, lavagem de filtros nas estações de tratamento de água e outros (Figura 2.6).

Os vazamentos podem se apresentar sob a forma de vazamentos grosseiros e inerentes. Os vazamentos grosseiros podem ser detectados pela observação dos registros contínuos de vazões e pressões de pontos da rede. Sistemas adequadamente instrumentados com essa finalidade tornam mais eficazes as detecções. Vazamentos desse tipo podem também ser detectados por indícios como o rebaixamento do pavimento ou a abertura de crateras que são objeto de alerta ou denúncia por parte da população. Podem ser reparados com auxílio de equipamentos de detecção acústica (hastes de escuta e geofones).

Mesmo que possível, o reparo de todos os vazamentos detectáveis não isenta as redes de abastecimento das perdas. Isso porque existem os vazamentos inerentes que continuam ocorrendo através de registros (Figura 2.6), hidrantes, juntas mal vedadas, tubos perfurados, rachados ou partidos, os quais são imperceptíveis aos equipamentos de detecção acústica.

As perdas aparentes, também denominadas perdas não físicas, incluem as parcelas de água que não são contabilizadas em função dos erros comerciais/gerenciais, das fraudes (ligações clandestinas) e dos erros de medição (hidrômetros com inclinações), entre outros. Observa-se que a micromedição é a medição realizada nos hidrômetros residências. Assim, ligações não micromedidas são aquelas que não dispõem de hidrômetro e submedidas são aquelas cujos hidrômetros registram um consumo abaixo do real.

Tomando-se por base o Balanço Hídrico (Figura 2.5), seguem as definições de seus componentes:

- **volume fornecido ao sistema:** volume anual de água produzido no sistema de abastecimento. Esse volume é a parcela principal do cálculo do Balanço Hídrico;

- **consumo autorizado:** volume anual medido e/ou não medido fornecido a consumidores cadastrados, ao próprio prestador de serviço de saneamento e àqueles que estejam implícita ou explicitamente autorizados a fazê-lo, para usos domésticos, comerciais ou industriais;

- **perdas de água:** volume referente à diferença entre volume fornecido ao sistema e consumo autorizado;

- **consumo autorizado faturado:** volume que gera receita potencial para prestador de serviço de saneamento, correspondente ao somatório dos volumes constantes nas contas emitidas aos consumidores. Compõe-se dos volumes medidos nos hidrômetros e dos volumes estimados nos locais onde não há hidrômetros instalados;

- **consumo autorizado não faturado:** volume que não gera receita para o prestador de serviços de saneamento, oriundos de usos legítimos de água no sistema de distribuição. É composto de volumes medidos (uso administrativo da própria companhia e fornecimento a caminhões pipas com controle volumétrico) e volumes não medidos, a estimar, tais como água utilizada em combate de incêndios, rega de espaços públicos e a água empregada em algumas atividades operacionais na prestadora de serviço de saneamento, como por exemplo, lavagem de reservatórios;

- **perdas reais[2]:** parcela de água correspondente ao volume perdido durante a lavagem de filtros na estação de tratamento de água, nos reservatórios (vazamentos e extravasamentos) e ao longo da distribuição (ramais);

- **perdas aparentes:** parcela de água correspondente ao volume de água consumido, porém não contabilizado pelo prestador de serviço de saneamento, decorrente de erros de medição nos hidrômetros e demais tipos de medidores, fraudes, ligações clandestinas e falhas no cadastro comercial. Nesse caso, a água é efetivamente consumida, porém não é faturada;

- **volume faturado:** representa a parcela da água comercializada, traduzida no faturamento do fornecimento de água ao consumidor.

- **volume não faturado:** representa a diferença entre os totais anuais da água que entra no sistema e do consumo autorizado faturado. Esses volumes incorporam as perdas reais e aparentes, bem como o consumo autorizado não faturado.

2.1.1 Desperdício

O termo "desperdício" compreende basicamente as perdas evitáveis, ou seja, correspondem claramente à negligência do usuário que não tem consciência ambiental. Isso pode estar vinculado ao uso propriamente dito ou ao funcionamento geral dos sistemas. Em geral, o desperdício de água está associado ao comportamento de uso e por isso é mais evidente nos sistemas individuais (edificações). As parcelas de perdas e desperdícios representam custos para os usuários e para a sociedade, sem aportar benefícios. Portanto sua eliminação ou redução a níveis razoáveis resulta em consideráveis benefícios ambientais e econômicos. Considerada essa classificação, a quantidade de água consumida pode ser expressa pela relação entre as destinações conforme apresentado na Figura 2.7.

Consumo total = Consumo efetivo + Perda + Desperdício

Figura 2.7 Expressão geral do consumo de água relacionado às perdas e desperdícios

Em geral o desperdício está associado ao comportamento humano de pessoas, empresas ou órgãos públicos que não têm consciência sobre o valor da água, mas pode também se enquadrar no campo da negligência comportamental consciente que não sofre ou que se sobrepõe a pressões contrárias.

Exemplo típico do desperdício é a quantidade de água não utilizada quando uma torneira permanece aberta a despeito de a água não estar sendo utilizada. Tal fato pode ser observado no cotidiano na lavagem de um veículo, quando o usuário simplesmente abandona a mangueira com água escoando enquanto ensaboa o carro. Comportamentos específicos também levam ao desperdício, como o hábito de abrir o registro do chuveiro elétrico antes de tirar a roupa para o banho.

Ocorrem também desperdícios associados a deficiências técnicas ou características tecnológicas inadequadas. Um caso comum de deficiência técnica é observado no posicionamento incorreto do tubo de extravasamento de reservatórios de água quando instalados em nível inferior ao da tubulação de água. Esse erro é muitas vezes agravado pelo fato de a tubulação de extravasamento ter sua extremidade de saída ligada à tubulação de águas pluviais ou de esgoto, tornando o evento despercebido aos usuários do edifício. A NBR 5626 prevê formas adequadas de evitar tais ocorrências.

2.1.2 Consumo total

É a quantidade total de água aplicada na realização de determinado uso, sendo expressa pela soma do consumo efetivo, da perda e do desperdício, conforme destaca a Figura 2.7. Cumpre reforçar que essa expressão diz respeito a volumes ou vazões, não entrando no mérito da qualidade da água. Em princípio as quantidades representadas pela soma e pelas parcelas da expressão dizem respeito à água de uma mesma qualidade. Na verdade a expressão apresentada desenvolveu-se de forma vinculada à conservação da água de abastecimento público. É, portanto, inapropriada para uma abordagem mais abrangente. Faz-se necessário explorar as possibilidades de utilização de águas de qualidades diferenciadas, adequadas a usos específicos, o que exige uma agregação apropriada de quantidades consumidas segundo determinadas qualidades de águas.

2.1.3 Qualidade

São as características da água descritas por um conjunto de atributos de natureza física, química, biológica e sensorial. Esses atributos podem ser expressos quantitativamente, qualitativamente ou descritos por outras formas. A qualidade da água pode ser descrita ou estabelecida por lei, portarias, resoluções, normas ou por consenso tecnicamente estabelecido.

A água para ingestão, por exemplo, deve ter a qualidade estabelecida pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. De forma similar está estabelecida a qualidade da água usada em hemodiálise, na produção de fármacos, para a balneabilidade (contato primário Resolução Conama 274), para a utilização em caldeiras industriais segundo a tecnologia do equipamento e para a classificação de águas naturais superficiais (Resolução Conama 357/2005), entre outras.

É importante observar que a descrição da qualidade de águas tende a aumentar segundo usos específicos como consequência da racionalização do uso do recurso hídrico à medida que cresce a consciência sobre o valor e os papéis específicos que ele joga em contextos bastante diferenciados. Entretanto, diversos usos propostos ou mesmo praticados ainda não contam com qualidade da água descrita, o que motiva estudos e ações administrativo-legais que, não raro, requerem longo prazo para definição final.

Infelizmente as teorias e estruturas definidoras da conservação de água ainda não conseguiram incorporar integralmente o atributo “qualidade” das águas. A conceituação relativa à conservação equaciona preferencialmente os consumos de água sem que a associação “quantidade” e “qualidade” de água seja plenamente incorporada à teoria conservacionista. Entretanto sabe-se que sob a óptica da sustentabilidade não só a quantidade, mas também a qualidade das águas deve ser levada em conta. Essa insuficiência de entendimento e teorização é matéria para futuro desenvolvimento.

2.1.4 Demanda

A demanda relaciona-se com a quantidade de água que os consumidores desejam utilizar a uma tarifa pré-definida durante uma unidade de tempo. Pode ser interpretada como procura, o que não necessariamente significa consumo, uma vez que é possível demandar e não consumir. A quantidade de água que os usuários desejam e podem comprar é definida como quantidade demandada. A quantidade demandada depende de variáveis que influenciam a decisão de consumo do usuário, sendo as principais o seu preço (tarifa) e a renda do usuário. É importante salientar que a demanda sempre influencia a oferta, o que se constitui no ponto central de interesse do gerenciamento dos recursos hídricos. Trata-se de um termo geralmente relacionado às quantidades necessárias previstas para os usos consuntivos da água, normalmente associado ao nível macro e meso do gerenciamento. A atuação sob a demanda de água, no sentido de comprimi-la a níveis racionais, é uma das mais importantes ferramentas de otimização de sistemas de abastecimento.

Para BRASIL (2006), as demandas hídricas no Brasil têm sido intensificadas com o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico, tanto no que se refere ao aumento das quantidades quanto no que se refere à variedade dos usos. Entretanto a relação de causalidade tem sido objeto de discussão quando se levam em conta outras variáveis. Esses aspectos são discutidos no Capitulo 6.

2.2 Aspectos quantitativos em escala macro

As últimas décadas foram marcadas pelo modelo econômico industrial que gerou uma série de problemas urbanos, ocasionados principalmente pela desintegração rural e pela saturação populacional nos centros urbanos. Crescimento populacional acentuado, desigualdades sociais, conflitos regionais e nacionais e impacto das mudanças climáticas no ciclo da água são alguns dos desafios atuais que precisam ser resolvidos com urgência.

Os esforços para caracterizar o volume de água disponível (gestão da oferta) no planeta foram então intensificados. A base de informações mundial, mantida pela Food and Agricultural Organization (FAO), referente ao balanço entre disponibilidade e uso de recursos hídricos de cada nação é denominada Aquastat. Nessa base, o Brasil se apresenta como o país com maior abundância de recursos hídricos.

Os valores de disponibilidade hídrica brasileira, considerando águas superficiais e subterrâneas e não levando em conta a degradação ambiental, é de 8233 ($x10^9$) m^3.ano. Esse valor corresponde a uma vazão de aproximadamente 261 mil m^3.s. Segundo estimativas da ANA (2007), a vazão média anual dos rios brasileiros (escoamento superficial) era de 179 mil m^3.s o que corresponde a 12% da disponibilidade mundial de água doce.

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), aprovado em 2006, é o documento oficial brasileiro que define os objetivos estratégicos para: melhoria da disponibilidade hídrica, em termos de quantidade e qualidade; redução dos conflitos pelo uso da água; percepção da conservação de água como valor socioambiental. Além das informações político-institucionais, nele são encontrados dados referentes à situação atual das águas no Brasil. Os valores contidos nesse documento sobre a oferta hídrica brasileira por região hidrográfica são resumidos na Tabela 2.2.

Tabela 2.1 > Disponibilidade hídrica mundial

PAÍS	DISPONIBILIDADE HÍDRICA TOTAL (10^9 M^3.ANO)
Brasil	8233
Rússia	4507
Canadá	2902
Indonésia	2838
China	2830
Colômbia	2132
Estados Unidos	2071
Peru	1913
Índia	1908

FONTE: ADAPTADO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GLOBAL DE ÁGUA E AGRICULTURA DA FAO (2003), PLATAFORMA AQUASTAT

Tabela 2.2 > Disponibilidade hídrica no Brasil por bacia hidrográfica

REGIÃO HIDROGRÁFICA	VAZÃO MÉDIA (M^3.S)	ÁREA (KM^2)
Parnaíba	763	333056
Atlântico Nordeste Oriental	779	286802
Atlântico Leste	1492	388160
Paraguai	2368	363446
Atlântico Nordeste Ocidental	2683	274301
São Francisco	2850	638576
Atlântico Sudeste	3179	214629
Uruguai	4121	174533
Atlântico Sul	4174	187522
Paraná	11453	879873
Tocantis-Araguaia	13624	921921
Amazônica	131947	3869953
Brasil	179433	8532772

FONTE: ADAPTADO DE BRASIL (2006)

Um estudo realizado pela ANA (2007), sobre as demandas de recursos hídricos no Brasil, mostrou que a irrigação ainda se encontra como maior uso consuntivo. Para os especialistas que conduziram o referido trabalho, as demandas de água para os diversos usos consuntivos são classificadas em: vazão de retirada, que corresponde à vazão extraída pelo usuário; vazão de retorno, que corresponde à parcela da água extraída que retorna ao manancial; e vazão de consumo, que é calculada pela diferença entre as vazões de retirada e de retorno, ou seja, a vazão efetivamente consumida. A Tabela 2.3 apresenta os valores de vazões de retirada, de consumo e de retorno em cada bacia hidrográfica brasileira. Observa-se que o consumo urbano, objeto de estudo deste capítulo, apresenta a maior parcela de retorno (332 m^3.s). Essas vazões podem ser obtidas da vazão de retirada, multiplicando esta por um coeficiente de retorno determinado para cada tipo de consumo. Em média, os coeficientes de retorno usados são em relação aos abastecimentos urbano (0,8), rural (0,5), industrial (0,8). Na irrigação e criação de animais o coeficiente de retorno é igual a 0,2. No caso do consumo, a vazão é calculada pela diferença entre a vazão de retirada e a vazão de retorno (Figura 2.8).

Tabela 2.3 > Vazões de retirada, consumo, retorno e percentuais

TIPO DE USO	RETIRADA (M^3.S)	CONSUMO (M^3.S)	RETORNO (M^3.S)
Urbano	420	88	332
Industrial	281	55	226
Rural	40	18	22
Animal	112	89	23
Irrigação	739	591	148

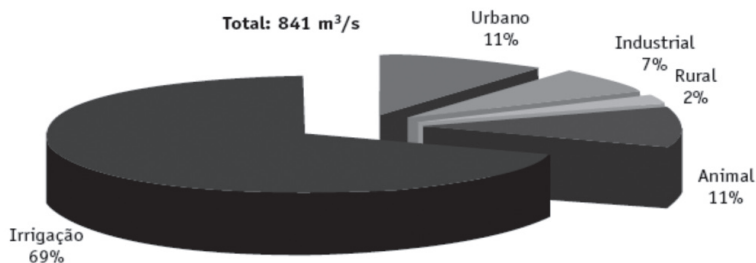
FONTE: ADAPTADO DE ANA (2007)

FONTE: ADAPTADO DE BRASIL (2006)

Figura 2.8 Distribuição percentual das vazões de retirada no Brasil

Para alguns especialistas (ROSEGRANT *et al.*, 2002), o crescimento populacional, associado ao aumento da renda *per capita*, tem aumentado a pressão sobre os recursos hídricos, principalmente para irrigação de lavouras com fins de produção de alimentos. É certo que isso trará consequências futuras, principalmente para consumo humano. Esses autores estimam que, em 2025, a demanda para países em desenvolvimento será de 162 km^3 e 64 km^3 para países desenvolvidos.

2.3 Aspectos quantitativos em escala meso

O uso sustentável da água, por meio de ações de conservação da disponibilidade hídrica, pode ser obtido com medidas de redução da demanda. Tradicionalmente, os conflitos que ocorreram sobre uso da água para abastecimento humano foram solucionados pelo aumento da oferta. Construção de novas fontes de abastecimento e expansões de sistema foram algumas das medidas adotadas, mas últimas décadas, observou-se que tais abordagens não eram sustentáveis. Para Unesco (2006), o gerenciamento pelo lado da demanda é a abordagem mais eficiente e moderna, pois considera redução do uso excessivo, programas de conservação e de reúso da água, entre outros. É importante lembrar que o ciclo urbano da água, considerando o enfoque tradicional, inicia-se nas fontes de suprimento (superficial ou subterrânea) e termina com a emissão da água em forma de esgoto (Figura 2.9).

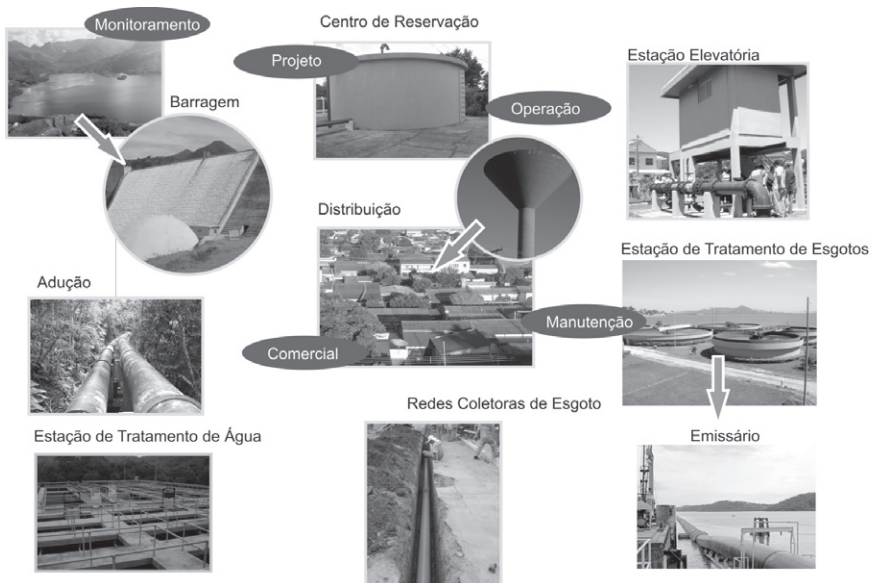



Figura 2.9 Ciclo de uso da água em meio urbano

A Tabela 2.4 apresenta dados do consumo médio *per capita* por regiões hidrográficas. Considerando a evolução do volume de água produzido ano a ano, verifica-se que: 2002 – 12,3 bilhões de m^3 de água; 2003 – 12,6 bilhões de m^3 de água (acréscimo de 2,4%); 2004 – 12,8 bilhões de m^3 de água (acréscimo de 1,6%); 2005 – 13,4 bilhões de m^3 de água (acréscimo de 4,7%); 2006 – 13,9 bilhões de m^3 de água (acréscimo de 3,7%); resultando em uma taxa média de crescimento anual de 3,3% para o período 2003–2006.

Em relação aos sistemas coletivos de abastecimento de água, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o consumo médio *per capita* de água em 2006 foi de 145,1 L.hab.dia, maior que o mesmo consumo em 2003, igual a 142,6 L.hab.dia. Esse valor é uma relação entre os volumes produzido e micromedido e a média da população atendida. A Figura 2.10 apresenta um resumo dos dados principais dos sistemas brasileiros.

Dados Brasileiros

CONSUMO MÉDIO PER CAPTA: 145 l/hab/dia
ÍNDICE TOTAL DE PERDAS: 39,8%

FONTE: SNIS (2006)

Figura 2.10 Dados referentes aos sistemas brasileiros de abastecimento de água

Os estudos da demanda de água urbana são essenciais para o planejamento e gerenciamento dos sistemas urbanos de saneamento, em especial água e esgoto. Tais estudos servem para identificar ações de médio e longo prazo as quais servem para elaborar políticas públicas que tentam induzir mudanças no comportamento de consumo. As demandas para serviços de saneamento, principalmente abastecimento de água, constitui parcela importante dentre as demandas nas diferentes bacias hidrográficas, embora quantitativamente não represente a maior.

Os sistemas coletivos de abastecimento de água (SDA) são definidos como uma combinação de tubulações, componentes hidráulicos (bombas e válvulas) e estruturas hidráulicas (reservatórios e estações de bombeamento) que são interconectados com propósito de produzir e transportar água potável aos consumidores em quantidade satisfatória.

Tabela 2.4 > Consumo médio de água per capita nas regiões hidrográficas brasileiras

No.	REGIÃO HIDROGRÁFICA (NÍVEL 1)	MUNICÍPIOS NA BACIA	ÁREA (km²)	REA(%)	POPULAÇÃO TOTAL – IBGE 2000				Io22 MÉDIO
					Existente na bacia (hab.)	(%)	Presente no SNIS para o indicador Io22 hab	% alcançado no SINIS	
1	RH Amazônica	311	3,869,952.50	45.4	7,872,719	4.7	6,729,962	85.5	133.9
2	RH do Tocantins - Araguaia	457	921,921.20	10.8	7,505,396	4.5	6,529,173	87	138.4
3	RH Atlântico Nordeste Ocidental	235	274,301.10	3.2	5,358,552	3.2	4,464,594	83.3	120
4	RH do Parnaíba	308	333,056.00	3.9	3,716,472	2.2	3,327,496	89.5	207.9
5	RH Atlântico Nordeste Oriental	787	286,802.20	3.4	21,442,974	12.8	20,496,423	95.6	123.5
6	RH do São Francisco	609	638,575.90	7.5	13,301,429	7.9	12,631,044	95	150.2
7	RH Atlântico Leste	550	388,159.80	4.5	12,472,845	7.4	12,169,932	97.6	124.4
8	RH Atlântico Sudeste	591	214,629.40	2.5	26,872,463	16	22,632,735	84.2	174.4
9	RH Atlântico Sul	467	187,522.30	2.2	11,772,259	7	11,102,138	94.3	161
10	RH do Uruguai	397	174,532.50	2	3,919,299	2.3	3,636,922	92.8	118.9
11	RH do Paraná	1505	879,872.60	10.3	51,943,966	30.9	55,798,949	93.3	143.5
12	RH do Paraguai	92	363,445.50	4.3	1,910,342	1.1	1,852,453	97	144
	Totais		**8,532,771.00**	**100**	**16,808,816**	**100**	**161,371,821**	**91.7**	
	Recôncavo Baiano				1,377,504				
	Total				169,466,320				

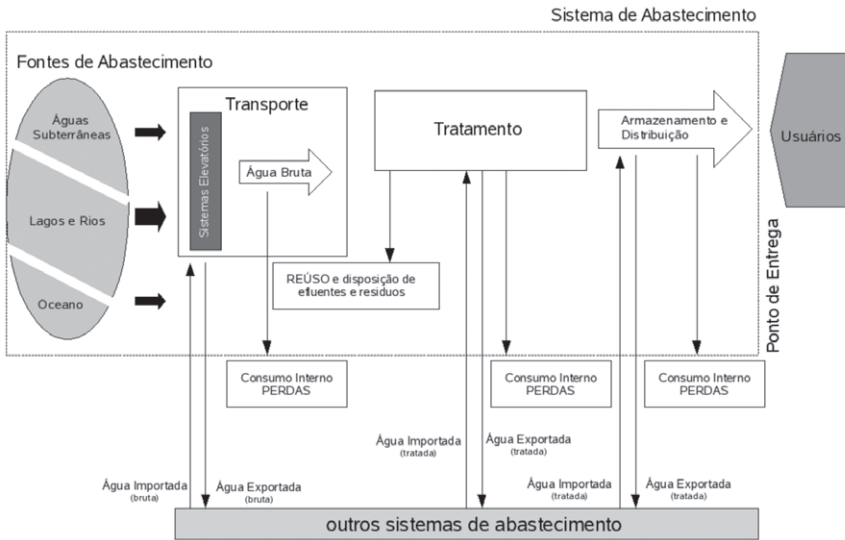
FONTE: BRASIL (2007) – SNIS

FONTE: ADAPTADO DA NORMA ISO 24512

Figura 2.11 Esquema ilustrativo de um típico sistema de abastecimento de água

O sistema convencional de abastecimento (Figura 2.11) é composto pelas unidades de captação, adução, tratamento, reservação e distribuição, dispostas conforme a configuração adotada e especificidades locais das cidades (características físicas). A retirada de água para abastecimento inicia-se nas fontes de captação (superficial ou subterrânea), por meio de sistemas de bombeamento que são responsáveis pelo incremento de energia e para que o volume captado chegue até as Estações de Tratamento de Água (ETA). Esse percurso (captação–ETA) é denominado sistema adutor e se caracteriza por tubulações com grandes diâmetros, por bombas de alta capacidade e por dispositivos de amortecimento (chaminés de equilíbrio, válvulas de alívio). Após a ETA, a água segue para os reservatórios de acumulação localizados nos setores de distribuição. Essa infra-estrutura de condutos é denominada sistema macro-adutor e se caracteriza pela presença de tubulações com diâmetros médios (> 300 mm e < 700 mm), reservatórios de armazenamento, estações elevatórias, macromedidores e outros. Os reservatórios de acumulação (armazenamento) possuem outras finalidades, tais como: regularizar vazões (flutuações de demanda), equalizar pressões no sistema e reservar água para situações emergenciais (incêndio e falhas). Após os reservatórios de acumulação, a água é distribuída aos consumidores por meio de sistemas de tubulações. Esses últimos sistemas, também denominados redes de distribuição de água, podem ainda contar com reforço de abastecimento por meio de fontes subterrâneas que, em alguns casos, injetam água diretamente ou lançam os volumes nos reservatórios apoiados

que por sua vez estão interligados com os reservatórios elevados. A distribuição constitui, sempre, a unidade final que conduz a água aos pontos de consumo, exercendo papel fundamental na manutenção da saúde pública e no combate a incêndios.

2.3.1 Perdas em sistemas coletivos de abastecimento de água

O gerenciamento das perdas deve ser visto como parte da gestão integrada dos recursos hídricos no âmbito das unidades de bacia, em que outros usuários, além dos sistemas de abastecimento de água, também participam como tomadores de água do sistema natural. Sob a óptica da conservação da água e como parte de um conjunto de medidas ambientais de longo prazo, o planejamento da oferta e da demanda deve levar em conta as ações de redução e controle das perdas de água. Essas ações inserem-se não somente no âmbito restrito dos sistemas de abastecimento, mas, sobretudo, no contexto mais amplo da conservação da água bruta na bacia (MIRANDA, 2002) (Tabela 2.5).

A inexistência de sistemas estanques de abastecimento faz o gerenciamento de perdas de água se tornar um assunto de alta relevância. Minimizar os volumes perdidos tornou-se o principal desafio dos prestadores de serviços de saneamento. Embora existam vários fatores que elevam aos elevados índices de perdas, os aspectos técnicos/físicos, relacionados à infra-estrutura (idade do sistema, material das tubulações, qualidade dos medidores), bem como aqueles associados ao gerenciamento são os principais condicionantes. Além dos prejuízos financeiros (energia, produtos químicos, faturamento), as perdas de água afetam o comportamento operacional dos sistemas (rebaixamento do nível de pressão), impactando diretamente os consumidores. Conceitualmente, a perda de água é calculada pela diferença entre o volume total ofertado ao sistema e o volume total faturado (micromedido). Desse total, atribui-se às perdas reais a parcela de água referente aos vazamentos distribuídos (aqueles que não afloram na superfície) e às perdas aparentes (não físicas ou comerciais) aquela parcela de água associada ao volume de água que não chega aos consumidores devido aos erros de medição nos hidrômetros, às fraudes e a problemas na gestão comercial, dentre outros. A maior dificuldade dos prestadores de serviços então é identificar, em cada setor de fornecimento, os volumes de perdas reais e aparentes. Essa informação é altamente relevante uma vez que ações de controle e correção são diferenciadas dependendo da característica das perdas. Existem ferramentas gerenciais importantes para que o prestador de serviços de saneamento elabore uma estratégia para controle de perdas (plano de controle e ação). É necessário em primeiro lugar seguir algumas etapas para elaboração de uma estratégia para controle de perdas (*cheklist* das perdas).

Tabela 2.5 > Etapas para o desenvolvimento de uma estratégia para controle de perdas (*checklist* das perdas)

ETAPAS/SOLUÇÃO	METODOLOGIA
Quanta água está sendo perdida? • Verificar o sistema de medição (macro e micro)	**Balanço hídrico** • Pitometria, técnicas para estimação • Procedimentos de calibração de medidores • Verificação contínua de medidores • Melhoria nos procedimentos de leitura
ONDE a água está sendo perdida? • Quantificar as perdas reais (vazamentos) • Quantificar as perdas aparentes	**Auditoria de redes** • Estudos de vazamentos (reservatórios de armazenamento, sistemas adução, sistemas de distribuição) • Investigações operacionais/clientes
Por que a água está sendo perdida? • Auditar a infraestrutura e a operação	**Revisão das práticas de operação** • Investigar: razões históricas e, práticas deficientes
Como melhorar o desempenho do sistema? • Reabilitar o sistema • Projetar e planejar o sistema	**Desenvolvimento de estratégia** • Atualizar os registros históricos do sistema • Setorizar o sistema • Introduzir monitoramento de vazamento • Identificar causas de perdas aparentes • Incentivar a detecção de vazamentos e os procedimentos de reparo • Elaborar planos de ação de curto, médio e longo prazo
Como sustentar o desempenho? • Garantir a sustentabilidade com equipe apropriada e estruturas organizacionais	**Procedimentos, treinamento e mobilização social** • Treinamento: conscientização, motivação, transferência de habilidades e introdução de melhores práticas nas equipes • Mobilização Social: envolvimento com a comunidade, programas de conservação da água e demanda • Monitoramento dos Planos de Ação: introduzir maneiras para monitorá-los

2.3.2 Indicadores de perdas

Os indicadores são cruzamentos de duas ou mais informações primárias ou variáveis que auxiliam o processo de análise de sistemas de abastecimento de água. Por meio de indicadores é possível comparar diferentes cenários em um mesmo sistema ou comparar diferentes sistemas para diversos fins, dentre eles a regulação dos serviços. Os indicadores auxiliam na avaliação de eficiência, custos, perdas, investimentos e qualidade, entre outros.

Segundo Magalhães Júnior (2000) *apud* Miranda (2002), os indicadores são elementos que sinalizam, comunicam, demonstram, indicam e informam sobre uma questão qualquer. Nesse sentido, os indicadores têm várias características definidoras: quantificam a informação, tornando seu significado mais aparente; simplificam a informação para facilitar a comunicação; são descritivos, não explicativos; representam um modelo empírico da realidade, não a realidade em si. Um indicador deve, ainda, facilitar a comparação.

Para Miranda (2002), os indicadores compõem-se de dois grupos: indicadores individuais, nos quais muitos dados são considerados independentemente; e índices agregados, nos quais um dado engloba várias informações, que podem estar representadas por algum indicador individual. A construção dos índices implica na ponderação dos diversos indicadores que os compõem, envolvendo algum juízo de valor (subjetividade).

No que se refere à gestão ambiental, os indicadores servem para analisar as ações de melhoria em níveis: estratégico, tático e operacional. Para Duarte *et al.* (2008), os níveis podem ser assim definidos:

- **estratégico**: indicadores de longo prazo que identificam os objetivos globais da organização e as respectivas metas, normalmente pela gestão de topo;
- **tático**: indicadores mais setoriais que estabelecem as vias para atingir os resultados pretendidos, ou seja, as ações a serem adotadas para o cumprimento dos objetivos estratégicos;
- **operacional**: indicadores que estabelecem os programas e as ações a serem desenvolvidas em curto prazo.

A Norma ISO 24512, relativa à gestão e avaliação do desempenho dos serviços de abastecimento de água, relaciona os objetivos estratégicos deste tipo de atividade, tais como (*apud* DUARTE, 2008):

- garantir a proteção da saúde pública;
- corresponder às solicitações e às expectativas dos utilizadores do serviço;
- garantir o fornecimento do serviço em condições normais e de emergência;
- garantir a sustentabilidade da entidade gestora;
- promover o desenvolvimento sustentável da comunidade;
- proteger o ambiente.

Em se tratando do problema de perdas, a IWA classifica os indicadores em três níveis: (1) básicos: que seriam derivados de informações técnicas e gerenciais mínimas, exigíveis de todos os serviços, indistintamente, (2) intermediários: que já se apresentam

um estágio acima com relação ao conhecimento das perdas reais com indicadores relacionados a condições operacionais e de desempenho hídrico do sistema; e (3) avançados: que são obtidos por meio de informações-chave mais sofisticadas. A Tabela 2.6 apresenta alguns indicadores de desempenho aplicados ao controle de perdas em sistemas de abastecimento.

Tabela 2.6 > Indicadores de desempenho

INDICADOR	NÍVEL	GRUPO	UNIDADES RECOMENDADAS
Ineficiência de utilização dos recursos hídricos	N1	Recursos hídricos	Perdas reais em % da água entrada no sistema
Perdas de água	N1	Operacional	m³.ligação.dia
Perdas aparentes	N3	Operacional	m³.ligação.dia
Perdas reais	N1	Operacional	L.ligação.dia
Índice de vazamentos na infra-estrutura	N3	Operacional	Relação das perdas reais com as perdas reais mínimas inevitáveis
Água não faturada por volume	N1	Financeiro	Volume de água não faturado em % da água entrada no sistema
Água não faturada por custo	N3	Financeiro	Valor da água não faturada em % dos custos correntes anuais

O SNIS propõe vários indicadores de desempenho (em torno de 84) com importância estratégica para a análise de desempenho do setor saneamento, devendo ser suficientes para destacar aspectos relevantes da oferta, da demanda, das receitas e dos custos dos serviços prestados. Tais indicadores são agrupados em: indicadores econômico-financeiros e administrativos; indicadores operacionais – água; indicadores operacionais – esgoto; indicadores de balanço contábil; e indicadores sobre qualidade dos serviços.

Um dos indicadores muito utilizados no setor é o Índice de Perdas na Distribuição (I_{049}) que relaciona os volumes disponibilizado (produzido) e consumido (micromedido). A água que é disponibilizada e não é utilizada constitui uma parcela não contabilizada, que incorpora o conjunto de perdas reais e aparentes no subsistema de distribuição. Os volumes disponibilizados e utilizados são anuais. Para um mesmo sistema de abastecimento, a apuração sistemática desse indicador mostrará, com certo grau de fidelidade, as tendências ou a evolução das perdas na rede de distribuição, constituindo-se em uma ferramenta útil para o controle e acompanhamento das perdas.

Índices superiores a 40% representam más condições do sistema quanto às perdas. Numa condição intermediária estariam os sistemas com índices de perda entre 40% e 25% e valores abaixo de 25% indicam sistema com bom gerenciamento de perdas.

Sabe-se que indicadores percentuais[3], embora fáceis de calcular, não são muito significativos, pois não avaliam adequadamente o desempenho do sistema de distribuição e sofrem influência da variação de consumo e da intermitência. Lambert (2002) propõe o abandono deste índice para uma avaliação técnica do sistema, aplicando-o apenas para uma avaliação financeira, sendo que o numerador da seria substituído pelo volume referente às Águas Não Faturadas em vez de Volume Perdido (Volume Produzido – Volume Micromedido).

A utilização de apenas um indicador não é suficiente para definir setores estratégicos para programas de combate as perdas de água no sistema. O ideal é que vários indicadores sejam combinados e que esses forneçam uma idéia mais representativa do desempenho. Deve-se ainda buscar uma melhor qualidade nas informações para que indicadores intermediários e avançados possam ser construídos durante a rotina de trabalho nas prestadoras de serviço.

Um indicador (I_{051}) que relaciona a diferença entre volume disponibilizado e volume micromedido pelo número de ligações ativas é um indicador volumétrico de desempenho. Sua magnitude incorpora as perdas reais e aparentes. Como tende a dar valores muito elevados em áreas com baixa ocupação urbana, recomenda-se o uso deste indicador em sistemas que possuem um número superior a 20 ligações.km de rede, valor que ocorre praticamente em todas as áreas urbanas.

O uso deste indicador é também aplicável em áreas com densidade de ramais superior a 20 ramais.km. Uma consideração a ser feita sobre este indicador é a não-utilização da variável pressão de operação do sistema para uma comparação de desempenho.

2.4 Metodologias para avaliar as perdas reais vem sistemas coletivos de abastecimento de água

As perdas reais em sistemas coletivos de abastecimento de água podem ser estimadas por meio de ensaios de campo ou procedimentos computacionais. A seguir, são descritas duas técnicas: Mínimas Noturnas e Calibração de Modelos.

2.4.1 Método das Vazões Mínimas Noturnas

O método das Vazões Mínimas Noturnas é baseado na variação dos consumos ao longo do dia e parte do pressuposto que no período entre 2h e 4h a demanda é mínima

e as caixas d'água já estão completas. A vazão registrada (Figura 2.12) nesse período, denominado Vazão Mínima Noturna, corresponde então aos vazamentos.

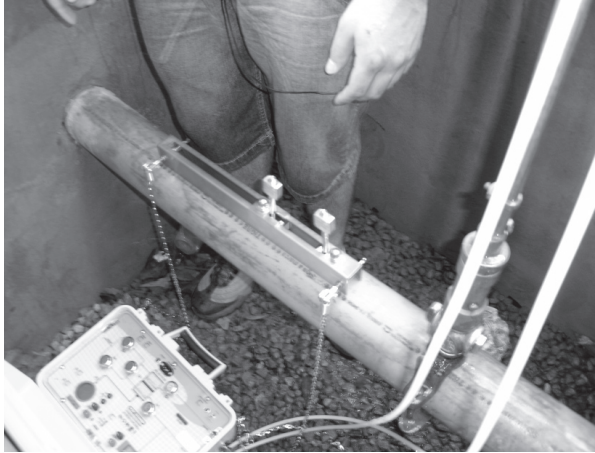



Figura 2.12 Medidores de vazão (ultrassônico e medidor diferencial/Pitot)

Partindo dessa lógica, a estimação do volume de vazamentos diários poderia ser obtida pela multiplicação da vazão mínima noturna pelo número de horas do dia (24h). Como os vazamentos são sensíveis à pressão, o resultado obtido estaria supervalorizando os volumes diários pedidos. Para solucionar esse erro, foi criado o Fator Noite/Dia (FND), que é um número, dado em horas por dia, que, multiplicado pela Vazão Mínima Noturna, resulta no Volume Médio Diário dos Vazamentos, ou seja, as perdas reais médias. A Equação 2.1 descreve tal afirmação:

$$VDPR = FND \times Q_{mn} \qquad \text{Equação 2.1}$$

em que FND representa o "Fator Noite/Dia" dado em h/dia e Q_{mn} é a vazão média mínima noturna dada em m³/h. O FND é determinado de um somatório de medições de pressão, ao longo de 24 horas, em um ponto médio representativo do setor, utilizando a seguinte relação:

$$FND = \left(\frac{Pi_{24h}}{P_{2h\ \text{às}\ 4h}} \right)^{N_1} \qquad \text{Equação 2.2}$$

em que Pi_{24h} representa a média das pressões ao longo de 24 horas medida de hora em hora, $P_{2h\ \text{às}\ 4h}$ representa a pressão medida na entrada do setor na campanha de mínima noturna das 3h às 4h. Considerando que a vazão de qualquer fluido, através de qual-

quer orifício, depende da pressão a que está submetido este fluido e que, dependendo do tipo de material ou do tipo do vazamento (rachaduras em tubos plásticos, por exemplo), a área do orifício também pode mudar em função da pressão, o N_1 pode ser calculado segundo a relação abaixo:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P1}{P_0}\right)^{N_1}$$ Equação 2.3

em que Q_0 é a vazão associada à pressão P_0 e Q_1 é a vazão final associada à pressão P_1.

Para a maior parte dos sistemas de abastecimento, o valor de N_1 está entre 0,8 (zero vírgula oito) e 1,15 (um vírgula quinze), ou seja, dentro de uma média igual a 1,00. Ensaios realizados em diversos países chegaram aos seguintes valores para o expoente N_1: 0,5 para tubos metálicos e de 1,5 a 2,5 para tubos plásticos (TARDELLI FILHO, 2006).

O simples conhecimento do tipo de material do sistema em análise não serve de referência para a determinação do fator N_1. A *priori*, N_1 igual a um pode nos dar resultados próximos do real; entretanto, sempre que possível, esse fator deve ser determinado experimentalmente. O procedimento básico é reduzir a pressão do sistema de abastecimento a cada 10mca (Figura 2.13), monitorando as vazões de cada pressão cujos valores são lançados na Equação 2. Da área escolhida, devemos conhecer a quantidade de ramais, a extensão da tubulação que compõe o sistema e a quantidade de habitantes. O teste para determinação do fator N_1 é relativamente simples; entretanto vários cuidados devem ser tomados (GIROL, 2008).

FONTE: GIROL, 2008

Figura 2.13	Manobras noturnas para estimar o N1

2.4.2 Protocolo para aplicação do Método das Vazões Mínimas Noturnas

Para execução deste método, é preciso seguir algumas recomendações, tais como:

- **representatividade da área:** a escolha da área deve ser representativa para todo o sistema;
- **estanqueidade do sistema:** há que se garantir que o sistema em estudo seja totalmente fechado, não permitindo contribuição de ou para outro setor de abastecimento;

• **período de monitoramento:** o teste deve ser efetuado entre duas e quatro horas da madrugada, horário em que se estima que os consumos noturnos são mínimos e as caixas d'água já estão cheias;

• **perfil dos consumidores:** há que se conhecer o perfil dos consumos noturnos específicos, tais como grandes consumidores, indústrias e hospitais. Consumidores com utilizações excepcionais, estes devem ser monitorados com registradores eletrônicos de vazão, cujo consumo deve ser descontado da vazão de entrada;

• **monitoramento de pressão:** há que se determinar o ponto médio de pressão do sistema, levando em consideração não a cota média, mas o ponto de maior concentração de ramais ou quaisquer outras singularidades. Sabendo que a probabilidade da existência de vazamentos é muito maior nos ramais, definir o ponto médio dentro desta referência nos dá a certeza de determinar a média das pressões atuantes nos vazamentos.

Algumas considerações:

a) A escolha da área deve ser representativa para todo o sistema.

b) Há que se certificar que o macromedidor instalado na entrada do sistema tenha precisão para registrar pequenos volumes e seja adequado para receber um registrador de vazões. O registrador de vazões (loggers), por sua vez, deve ter capacidade para armazenar os dados necessários e suficientes para a execução dos cálculos.

c) Ao se efetuar as sucessivas reduções de pressão, há que se verificar a estabilização da vazão de entrada e da pressão do ponto médio. Dependendo do tamanho da área, isto ocorre entre 15 e 20 minutos após a redução da pressão.

d) São necessárias pelo menos três reduções de pressão para que se possa obter uma boa média do fator N1. Essas variações devem ser de pelo menos 10mca entre uma e outra, ou a variação na vazão será tão pequena que poderá que gerar valores significativos para os cálculos.

e) Se eventualmente o resultado de N1 for negativo, significa que num dado momento do teste houve um consumo significativo em um ponto qualquer que não estava sendo controlado. Para ficar mais claro, se a vazão do macromedidor se mantiver constante ou sofrer uma variação muito pequena, apesar da redução da pressão, esses valores não poderão ser considerados.

f) A primeira coisa a ser feita é uma análise profunda da coerência dos dados obtidos.

g) Valores de N_1 menores que 0,5 indicam que houve consumo não controlado, e logo não considerado. O propósito do teste é determinar o comportamento dos orifícios dos vazamentos; logo, quando se expurgam os consumos legítimos, excepcionais ou não, a vazão resultante deve se referir apenas a esses vazamentos. No caso de não ter havido controle total sobre todos os consumos que possam estar interferindo nos resultados, há que se observar as falhas e repetir o teste.

h) Para se determinar o volume consumido neste horário apenas pela população, uma das estimativas que se pode adotar é de 25 litros por habitante por hora, no horário compreendido entre 3h e 4h da madrugada. Se já houver estudos neste sentido, adotam-se os valores estudados. Os valores a serem adotados nos cálculos, tanto para vazão quanto para pressão média, devem ser os últimos obtidos imediatamente antes da variação da pressão subseqüente.

i) Com o conhecimento do fator N_1, a vazão de quaisquer vazamentos pode ser calculada com base na pressão atuante no local. Pode-se prever o quanto se pode reduzir em volume se as pressões forem otimizadas com a atuação de uma VRP. Fornece subsídio para a determinação do fator noite/dia.

2.4.3 Experiência do Prosab na quantificação de perdas por meio das mínimas noturnas

Essa rede de pesquisa aplicou a metodologia acima mencionada em dois sistemas reais de distribuição de água nos quais são denominados PILOTO 1 (Figura 2.14) e PILOTO 2 (Figura 2.15). Esses sistemas localizam-se nos estados de Santa Catarina e Mato Grosso do Sul. Os estudos realizados em Santa Catarina foram feitos por Girol (2008). A seguir, os dados dos referidos sistemas.

Piloto 1

• População atendida	2.000 pessoas
• Extensão total das tubulações	6,7 km
• Diâmetro das tubulações	20 mm a 100 mm
• Número de ligações (ramais)	470
• Volume macromedido	230 m^3.dia
• Volume micromedido	156 m^3.hab.dia
• Consumo *per capita*	78 L.hab.dia

Piloto 2

- População atendida 5.656 pessoas
- Extensão total das tubulações 9,7 km
- Diâmetro das tubulações: 50 mm a 150 mm
- Número de ligações (ramais) 1414
- Volume macromedido 1085 m^3.dia
- Volume micromedido 579 m^3.dia
- Consumo *per capita* 102 L.hab.dia

A Figura 2.16 mostra os valores observados de vazão e pressão durante o procedimento de Mínimas Noturnas realizado no PILOTO 1. Com esses valores, foi possível estimar os valores médios de N_1 para cada ponto de monitoramento e os respectivos Fatores Noite/Dia. Fazendo uma média dos valores encontrados, obteve-se o FND:

$$\text{Fator Noite/Dia}_{\text{médio}} = \frac{22{,}96 + 17{,}26 + 17{,}13}{3}$$

$$\text{Fator Noite/Dia}_{\text{médio}} = 19{,}12$$

A vazão mínima noturna média do PILOTO 1, de acordo com os dados do supervisório, durante o período das 3h às 4h, é de 2,8 m^3/h. Com isso, foi possível calcular o Volume Diário de Perdas Reais:

$$\text{VDPR} = 19{,}12 \text{ hora.dia} \times 2{,}8\text{m}^3\text{.hora} = 53{,}54\text{m}^3\text{.dia}$$

A Figura 2.17 apresenta as vazões mínimas noturna no setor PILOTO 2. Essas vazões foram monitoradas por meio do medidor de vazão, que utiliza sensor de pressão diferencial acoplado a um tubo de Pitot.

A Vazão Mínima Noturna Média do PILOTO 2 é de 6 l.s (21,60 m^3.h). Com isso, foi possível calcular o Volume Diário de Perdas Reais:

$$\text{VDPR} = 22{,}26 \text{ hora.dia} \times 21{,}60 \text{ m}^3\text{.hora} = 480{,}82\text{m}^3\text{.dia}$$

Comparando os sistemas PILOTO 1 e PILOTO 2 e aplicando o Indicador de Perda Real por Ligação (I_{051}) observa-se que o sistema PILOTO 2 é menos eficiente que o sistema PILOTO 1 (Tabela 2.7).

Tabela 2.7 > Estimativa das perdas reais por ligação para os diferentes setores

PILOTO 1	PILOTO 2
114 L.lig.dia	340 L.lig.dia

Figura 2.14 Modelo de rede do PILOTO 1

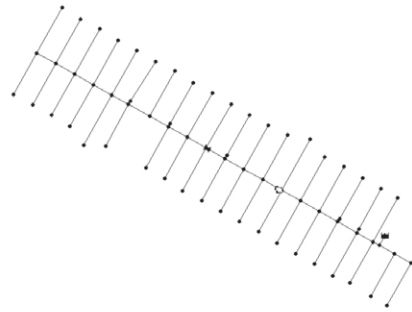



Figura 2.15 Modelo de Rede do PILOTO 2

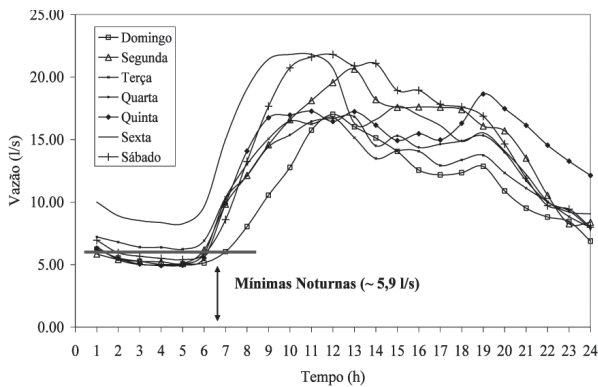



Figura 2.16 Vazão macromedida setor PILOTO 1

2.4.4 Experiência do Prosab na quantificação de perdas por meio da modelagem

O Epanet é um *software* para modelagem de sistemas de abastecimento de água que pode ser executado em plataforma Windows 95/98/NT/XP. Ele foi desenvolvido pela Divisão de Recursos Hídricos e Sistemas de Água da Agência de Proteção Ambiental dos EUA. Em termos de aplicação, o Epanet permite realizar simulações em período estendido com objetivo de representar o comportamento hidráulico e da qualidade da água de sistemas pressurizados de abastecimento de água.

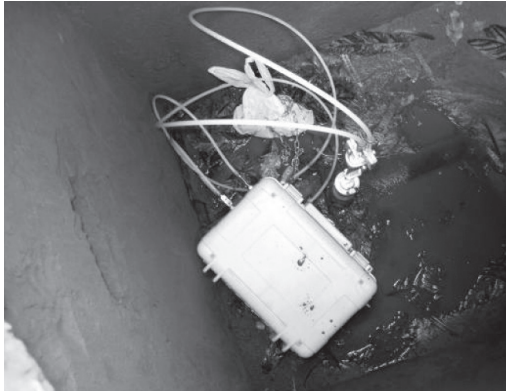



Figura 2.17 Medidor de vazão (diferencial de pressão + tubo de Pitot)

Embora a formulação matemática do Epanet não considere explicitamente as perdas reais, é possível simulá-los com artifícios de modelagem, denominados coeficientes emissores, que são correspondentes aos aspersores nos sistemas de irrigação. Esse artifício de modelagem assume que em cada nó do sistema existe um consumo efetivo (calculado pelo método da área de influência) mais uma vazão incremental, correspondente ao dispositivo emissor. Os emissores são modelados através de uma tubulação fictícia que liga o nó a um reservatório fictício. A carga hidráulica no reservatório fictício passa então a ser a energia disponível no nó. Assim, o nível piezométrico com vazamentos é inferior ao nível sem vazamentos. Atendendo às considerações anteriormente expostas, a demanda ou consumo (q_d), em cada nó, pode ser escrita por:

$q_d = q_c + q_{dl}$ Equação 2.4

em que q_d representa a parte do consumo efetivo relativa ao consumido pelos usuários e q_{dl} a parte do consumo relativa aos vazamentos em orifício ou rupturas ocorridas na rede de distribuição. No Epanet, o termo q_{dl} é expresso pela seguinte equação:

$q_{dl} = C_i (p_i)^{\alpha}$ Equação 2.5

em que q_{dl} equivale ao vazamento no nó *i*, *p* representa a pressão no nó *i* e *p* é o expoente da pressão, cujo valor assumido no Epanet é igual a 0,5, o qual se difere dos valores reportados na literatura por vários pesquisadores, tais como Goodwin (1980) e Germanopoulos e Jowitt (1989), que usam 1,18, e Lambert *et al.* (1998), que recomendam o valor de 1,0 para sistemas relativamente com maior extensão.

O Epanet estima a vazão da água em cada tubulação, a pressão em cada nó, o nível de água em cada reservatório e a concentração de substâncias químicas ao longo da rede

durante o período de simulação. Em relação à qualidade da água, além das substâncias químicas, o *software* determina o tempo de residência da água, a fonte e sua trajetória.

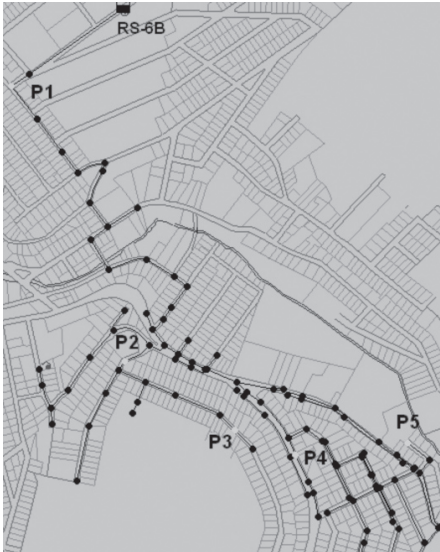
A quantificação das perdas reais pode ser realizada com o Epanet Calibrator Desktop, que foi desenvolvido pela equipe Prosab (ver descrição detalhada no Capítulo 4).

FONTE: GIROL (2008)

Figura 2.18	Pontos de monitoramento de pressão

FONTE: GIROL (2008)

Figura 2.19	Medidor de pressão contínuo

2.4.4 Resultados da quantificação das perdas reais nos sistemas PILOTO pela modelagem

Para quantificar as perdas reais em sistemas de distribuição de água por meio da modelagem foi necessário levantar dados de campo. No setor PILOTO 1 (Figura 2.14) foram instalados medidores de pressão (Figura 2.19) em alguns locais (Figura 2.18).

O setor PILOTO 2 contou com medidores contínuos que foram fixados (Figura 2.20) no sistema. Esses sensores foram montados pela equipe de pesquisa da UFMS e possuem a função de monitorar e enviar os dados em tempo real por meio de tecnologia GPRS. Os dados são enviados para um servidor localizado laboratório Resan da UFMS. Esses sensores foram distribuídos de maneira uniforme (no começo, meio e final do setor PILOTO 2) conforme mostrado na Figura 2.21.

Os resultados da Tabela 2.8 mostram uma comparação dos resultados obtidos nos setores PILOTO com outros sistemas utilizando métodos diferenciados de estimação de perdas (Mínimas Noturnas e Modelagem/Calibração).

Figura 2.20 Sensor de pressão em tempo real (GSM)

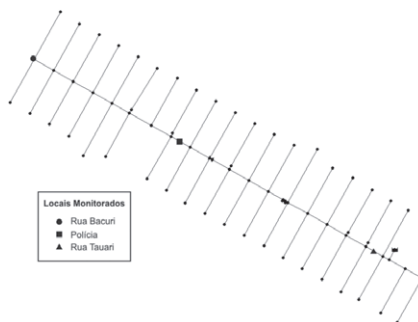



Figura 2.21 Pontos de monitoramento

Tabela 2.8 > Comparação entre SAA utilizando o Índice de Perdas por Ramal

EMPRESA	PERDAS (LITROS/LIGAÇÃO/DIA)		
	Reais	**Aparentes**	**Totais**
ER Ilhéus/Embasa	167	239	406
SAAE Viçosa	277	101	378
SAE Ituiutaba	158	33	191
Samae São Bento do Sul	128	95	223
Copasa Montes Claros	296	125	421
Semasa Santo André	203	86	289
SAAE Sorocaba	426	169	595
US Santa Maria/Corsan	443	146	589
SAAEG Guaratinguetá	318	52	370
Samae Caxias do Sul	444	129	573
PILOTO 1 – Calibração	109	64	173
PILOTO 1 – Mínimas Noturnas	114	60	174
PILOTO 2 – Calibração	340	18	358
PILOTO 2 – Mínimas Noturnas	363	24	387

2.5 Aspectos quantitativos em escala micro

As projeções mundiais da demanda por água estão sendo dirigidas para seu uso não potável. Essa premissa parte do pressuposto que o volume necessário para consumo humano (alimentação, lavagem de alimentos) representa uma pequena parcela do tradicional consumo *per capita*, adotado no planejamento convencional.

O conhecimento do consumo total de água, desagregado segundo os diversos pontos de utilização em uma residência, é de fundamental importância para se saber onde

devem ser priorizadas as ações de conservação da água em edificações. O consumo de água nessa forma desagregada denomina-se **perfil de consumo residencial de água.** Esses usos têm sido denominados também usos finais (DEOREO, 2000) para enfatizar que se trata da utilização no ponto de uso interno à residência como, por exemplo, água usada para tomar banho de chuveiro, água usada para lavagem de roupas em tanques e água para preparação de alimentos.

O perfil, na sua forma mais completa, compreende o conhecimento da quantidade e da qualidade consumidas nos usos prediais individualizados, embora os estudos realizados até aqui tenham se referido somente ao perfil de consumo de água potável, independentemente do ponto de utilização. Na presente publicação, entretanto, como resultado dos estudos e experimentos realizados no âmbito do Prosab, têm início os primeiros resultados de consumo levando em conta a qualidade das águas envolvidas. Esses estudos vêm preencher uma necessidade básica considerada a premissa citada no início desse item e tendo em consideração que não se tem ainda um quadro compreensivo de perfis no Brasil e no mundo.

Os exemplos de perfis já estabelecidos (THACKRAY *et al.* 1978; DeOREO, 2006) mostram que eles são bastante dependentes de fatores culturais que se refletem da forma de construir o edifício e os sistemas de abastecimento ao comportamento pessoal ditado por hábitos, tradições e religião, entre outras características. Para a realização de estudos visando à determinação do perfil do consumo considera-se, em caráter preliminar, que os seguintes fatores devem ser levados em conta:

- número de habitantes da residência e tempo de permanência durante os dias da semana;
- área construída e número de aparelhos sanitários disponíveis;
- características técnicas do serviço público e predial de abastecimento com especial atenção para as diferenças entre abastecimento direto e indireto;
- clima da região;
- características culturais da comunidade;
- perdas e desperdícios nas instalações prediais e nos usos;
- renda familiar;
- valor da tarifa de água;
- estrutura e forma de gerenciamento do sistema de abastecimento.

De qualquer forma, percebe-se de imediato que é muito importante não transpor ou extrapolar sem bases bastante criteriosas os dados relativos de perfis de consumo de outros países e outras regiões. A importância do conhecimento do perfil do consumo é central,

pois descreve o quadro abrangente sobre o qual poderá ser elaborado um programa de gerenciamento da água e energia do edifício, permitindo estabelecer ações racionalizadas para que a conservação possa ser maximizada, segundo uma visão sistêmica.

O consumo de água residencial inclui tanto o uso interno quanto o uso externo às residências. Para Terpstra (1999), esse consumo pode ser classificado em quatro categorias:

- higiene pessoal;
- descarga de banheiros;
- ingestão;
- limpeza.

As atividades de limpeza e higiene são as principais responsáveis pelo consumo interno, enquanto que o externo deve-se à irrigação de jardins, lavagem de áreas externas, lavagem de veículos, piscinas, entre outros.

De acordo com essa classificação, a água destinada ao consumo humano pode ter dois fins distintos:

- potáveis – higiene pessoal, ingestão e preparação de alimentos (usos de água com rigoroso padrão de potabilidade, conforme estabelecido na legislação aplicável);
- não potáveis – lavagem de roupas, carros, calçadas, irrigação de jardins, descarga de vasos sanitários, piscinas, entre outros.

Dessa forma, na determinação do perfil de consumo residencial é importante considerar também as duas classes de usos: potáveis e não potáveis, ou, numa condição ainda mais aprimorada, determinar a qualidade requerida para a água em cada uso considerado.

O consumo de água (e/ou de energia) predial decorre de uma série de aspectos que devem ser analisados visando à organização das ações para sua minimização. Na Figura 2.22 esses fatores encontram-se representados.

O primeiro aspecto aqui considerado diz respeito aos mecanismos de controle do consumo de água no prédio, que se constitui em requisito fundamental para que os outros aspectos possam ser praticados com racionalidade. Vale a máxima que diz "não se controla o que não se conhece". Para que exista controle é imprescindível a medição, que permite que os usuários tenham conhecimento do consumo geral do prédio e, se possível, como cada um dos outros aspectos a seguir considerados, participam desse. Quanto mais próxima de cada usuário a medição, maior a informação disponível e, consequentemente, o controle sobre o consumo. O nível de consciência do público usuário influencia diretamente no padrão de racionalidade no consumo,

mas não se pode esquecer que a cobrança é um dos mecanismos mais eficazes para elevar a consciência.

O segundo aspecto (2) se refere ao objeto precípuo do fornecimento de água: viabilizar o seu uso para atender às necessidades básicas dos usuários, assim como outros desejos. Esse aspecto é aqui denominado de consumo efetivo. Entendem-se aqui como básicas as necessidades de água para ingestão, preparo de alimentos e manutenção das condições higiênicas para a promoção da saúde.

Gleick (1996) recomenda o volume de 50 litros de água por dia para atendimento às necessidades básicas de uma pessoa adulta (Figura 2.23), incluindo nessa medida 20 litros para descarga de vasos sanitários, número bastante próximo daquele recomendado no capítulo XVIII da Agenda 21 (ONU, 2004), que é de 40 litros. Na África do Sul (SWARTZ & OFFRINGA, 2006), para efeito de tarifação, adota-se 25 L.hab.dia para o atendimento às necessidades básicas. Essas cotas visam ao atendimento das necessidades de higiene, bebida e limpeza, objeto de preocupação tradicional da saúde pública.

É importante destacar que, dos usos da água, o que maior impacto causa na saúde é a lavagem de mãos antes das refeições e depois de defecar ou urinar, responsável pela redução de até 45% na incidência de diarréias (ESREY *et al.*, 1991).

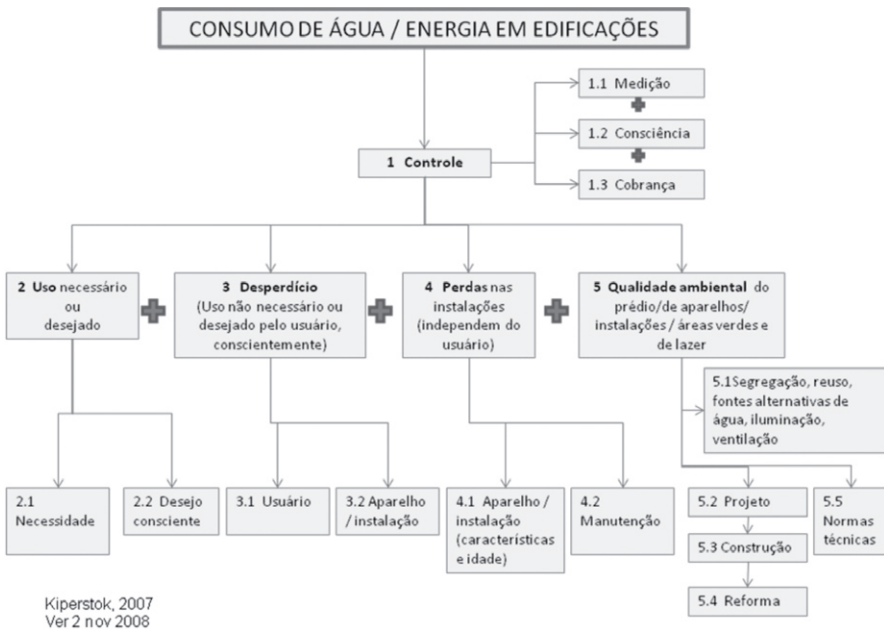



Figura 2.22 Consumo total de água predial

Consumo de água para Necessidades Básicas
50 litros por dia *(Gleick, 1996)*
40 litros por dia *(ONU, 2004)*
25 litros por dia *(SWARTZ e OFFRINGA, 2006)*

Figura 2.23 Valores de referência sobre o consumo de água para atender às necessidades básicas

O consumo efetivo de água, contudo, não se limita apenas ao atendimento às necessidades básicas citadas. Deve se considerar que a água atende também a outros desejos dos usuários que não podem ser desconhecidos. Esse consumo de água é aqui denominado de consumo efetivo desejado ou que atende a desejos conscientes do usuário. Para melhor ilustrá-lo, consideremos o simples ato de tomar banho num chuveiro. A depender da pessoa, o consumo de água nessa atividade pode ser menor que 9 litros quando ocorre numa instalação com baixa pressão e, conseqüentemente, com uma vazão de 3 litros por minuto[4]. Esse consumo será atingido se o tempo de uso se limitar a 3 minutos, tempo suficiente para o usuário se molhar, ensaboar e retirar o sabão, desde que não mantenha o chuveiro aberto desnecessariamente. Mas isso exige uma atitude cuidadosa do usuário.

Por outro lado, o usuário pode gostar de um banho demorado em função deste atender a desejos outros que vão além da higiene corporal. Muitas pessoas usam o banho como forma de relaxamento para ajudá-las as enfrentar as situações de estresse geradas pela vida contemporânea. Não se poder considerar ilegítimo usar a água para isso. A diferença entre uso consciente e desperdício, neste caso, estaria vinculada à consciência do usuário quanto às suas próprias necessidades. Um banho demorado de 15 minutos ou mais, com vazões de 9 litros por minuto[5], leva a gastos superiores a 135 litros, acima do consumo *per capita* diário de muitas famílias.

No quadro 3 da Figura 2.22, representa-se o consumo predial associado ao desperdício de água. Esse se relaciona com o consumo não necessário ou desejado pelo usuário. Esse consumo pode ser provocado pelo usuário ou induzido pelo aparelho. No primeiro caso, decorre da falta de atenção ou desinteresse do próprio usuário quanto ao uso racional da água (chuveiro aberto enquanto se ensaboa ou da torneira do lavatório enquanto se escova os dentes). No segundo, independe da vontade do mesmo: é ditado pelas características do aparelho hidrossanitário utilizado.

Uma descarga de vaso sanitário de 12 litros representa um desperdício induzido por um aparelho ultrapassado no seu *design*, contra o que o usuário pouco tem a fazer, a não ser trocá-lo. Sabidamente os vasos sanitários são mais utilizados para urinar do que defecar. Segundo Vyckers (2002), em termos médios, tem-se 1 uso diário para defecar e 4 para urinar. Um vaso que requeira 12 litros por descarga gastaria 60 litros por dias por pessoa. Vasos com duplo acionamento (6 ou 3 litros), se usados corretamente, gastariam 18 litros. Vasos com descarga a vácuo requerem cerca de 1 litro por acionamento, o que resultaria em um consumo diário de 5 litros. Neste último caso, todavia, ter-se-ia que considerar o alto custo atual desse equipamento e a energia necessária para seu funcionamento, além de custos adicionais de manutenção. Em estudo financiado pelo fundo de pesquisa da Associação Americana e Sistemas de Água (AWWARF), observou-se que as residências que utilizavam vaso de descarga reduzida (6 Lpf) o consumo de água para descarga foi 50% menor que nas que utilizavam vasos comuns (MAYER, DEOREO, 1999).

No caso de dar descarga à urina, prática habitual na nossa cultura, mesmo que possa ser considerada indesejável do ponto de vista do uso racional da água[6], esta pode ser dada com volumes inferiores a 1 litro, representando economia considerável de água.

Os chuveiros, responsáveis por um dos maiores ou, em alguns casos, o maior consumo de água, junto com o vaso sanitário, têm seu gasto definido pelo produto da vazão pelo tempo de uso. Quanto ao último, o controle cabe inteiramente a uma decisão do usuário, que pode tomar seu banho em 2 ou 20 minutos. Mas o primeiro, a vazão do chuveiro, pode ser melhorada com o uso de arejadores e restritores de vazão que facilitam a redução para uma vazão de 3 litros.min mantendo a sensação de um volume maior, atendendo dessa forma o desejo de "banho de cachoeira" de alguns usuários. Os restritores de vazão podem também ser usados em torneiras, reduzindo os gastos de água.

Uma torneira de fechamento automático tem efeitos positivos com usuários que a deixam aberta sem necessidade ou a esquecem aberta ao sair. Já com usuários mais conscientes, as vazões e os tempos de fechamento podem produzir resultados indesejados. Considere-se ainda que muitos dos chamados aparelhos economizadores demandam práticas de manutenção mais avançadas, nem sempre acessíveis. O caso das caixas de descarga de volume definido, que permitem ao usuário determinar o volume de descarga a ser usado, pode permitir economias superiores às de descarga fixa, mesmo quando estas estiverem associadas a vasos de descarga reduzida (6,8 L por fluxo).

Uma ilustração bastante interessante sobre o hábito do banho na cidade de São Paulo foi obtida pelo instituto Datafolha do jornal "Folha de São Paulo", resultante de uma pesquisa que levou em consideração o tempo de banho em chuveiro elétrico, segundo o sexo. Segundo esta pesquisa, os percentuais de tempo de banho podem ser elevados, fato que corrobora indícios sobre o peso significativo do consumo de água no banho

em diversos contextos urbanos brasileiros (Figura 2.24). Uma interpretação de tais resultados pode ser feita adotando como razoável o banho de chuveiro que tenha duração de até 10 minutos[7]. Nesse caso, 54% dos homens e 44% das mulheres estariam enquadrados nessa faixa. Para permanência maior que 10 minutos tem-se 46% dos homens e 57% das mulheres. O consumo maior de água por mulheres foi verificado também em medições realizadas pelo IPT em banheiros femininos e masculinos de escritório da Sabesp em São Paulo.

Um exercício exploratório e com valores aproximados com base nos dados da Figura 2.24 pode ser feito para tempos de permanência maiores que 10 minutos, o limite da faixa de tempo considerada razoável. O tempo médio de permanência de cada faixa de tempo é associado ao percentual da respectiva faixa que é usado como peso em uma média ponderada. No caso da faixa de tempo maior que 30 minutos, adota-se esse valor como tempo médio o que minimiza o tempo médio de permanência no banho. Os cálculos mostram que o tempo médio de permanência de mulheres é de aproximadamente 21 minutos. No caso dos homens os cálculos levam a um tempo médio de banho de 19,6 minutos.

Com esses valores de permanência sob o chuveiro é possível aquilatar a proporção de água usada no banho por pessoas que tomam banho de mais de 10 minutos de duração. Considerando banhos em chuveiro com vazão de 3 L.min, tem-se um consumo de água de 63 L no banho diário das mulheres e de aproximadamente 59 L no caso dos homens. Já se a vazão do chuveiro alcançar o limite máximo previsto na norma brasileira de desempenho de edificações residenciais[8] de até 5 andares, ou seja, 9 L.min, o banho diário consumiria, respectivamente, 189 L e 176 L de água.

Na Figura 2.22, representa-se o consumo predial associado ao desperdício de água. Este se relaciona com o consumo não necessário ou desejado pelo usuário. Pode ser provocado pelo usuário ou induzido pelo aparelho. No primeiro caso, decorre da falta de atenção ou desinteresse do próprio usuário quanto ao uso racional da água (chuveiro aberto enquanto se ensaboa ou da torneira do lavatório enquanto se escova os dentes). No segundo, independe da vontade dele, é ditado pelas características do aparelho hidro-sanitário utilizado.

Uma descarga de vaso sanitário de 12 litros representa um desperdício induzido por um aparelho ultrapassado no seu *design*, contra o que o usuário pouco tem a fazer, a não ser trocá-lo. Deve ser atentado o fato comprovado de que os vasos sanitários são mais utilizados para urinar do que defecar, verificando-se, em termos médios, 1 uso diário para defecar e 4 para urinar (VYCKERS, 2002). Um vaso que requeira 12 litros por descarga gastaria 60 litros por dias por pessoa. Vasos com duplo acionamento (6 ou 3 litros), se usados corretamente, gastariam 18 litros. Vasos com descarga a vácuo requerem cerca

de 1 litro por acionamento, o que resultaria em um consumo diário de 5 litros. Neste último caso, todavia, ter-se-ia que considerar o alto custo atual desse equipamento e a energia necessária para seu funcionamento, além de custos adicionais de manutenção.

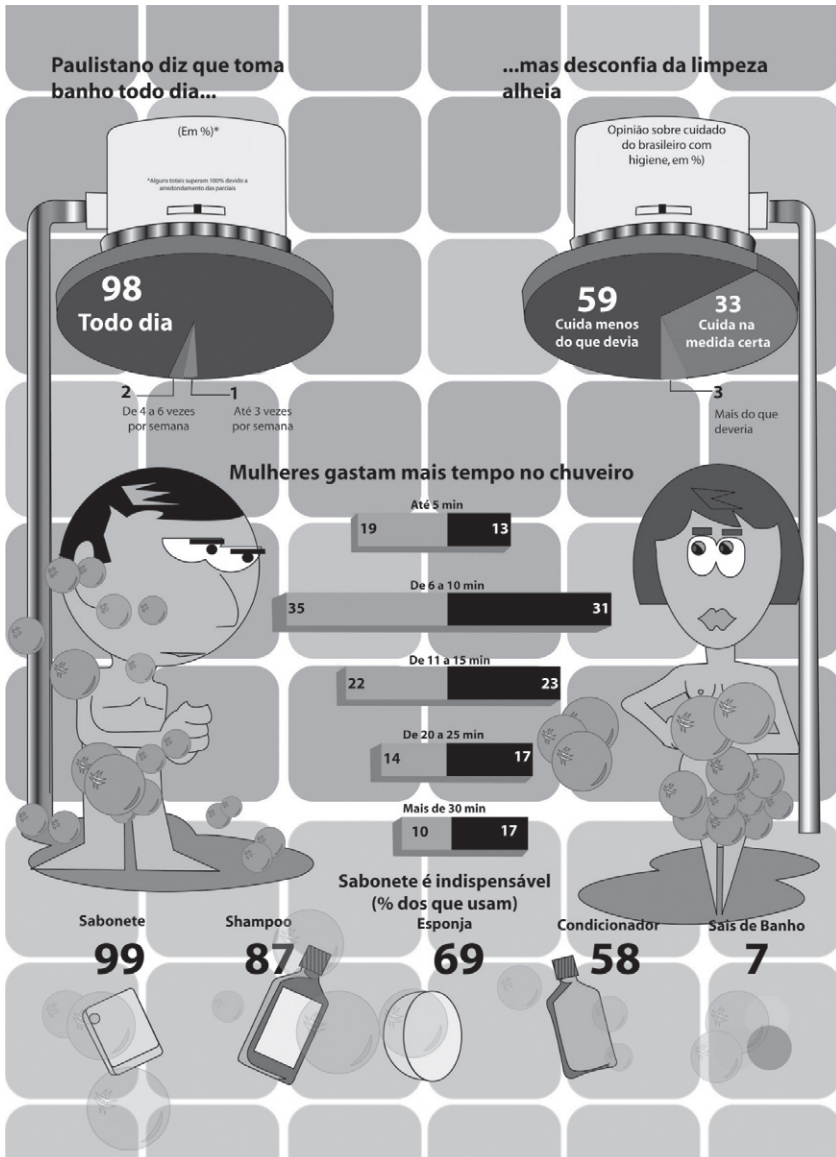



Figura 2.24	Tempo de permanência no banho de chuveiro na cidade de São Paulo, segundo o sexo e outros resultados.

O quarto aspecto é de difícil quantificação para efeito de programas de racionalização do uso da água e se refere às perdas físicas nas instalações provocadas por vazamentos, sejam estes visíveis ou não. O porte e a freqüência dessas perdas se relacionam com dois fatores principais: as características das instalações, tubulações, peças hidráulicas e aparelhos, incluindo a pressão hidráulica a que estas se encontram submetidas, e a qualidade da manutenção dada a elas, incluindo a rapidez da descoberta de vazamentos e o tempo que tomam para serem sanados. Não existem muitos estudos com medição da parcela referente a vazamentos intraprediais; entretanto, o que foi realizado para a AWWARF (MAYER, DEOREO, 1999), abrangendo 1188 residências em 12 cidades americanas, mostrou um percentual de 13,7% para vazamentos.

Para instituições e edifícios comerciais, a constituição de equipes de manutenção treinadas para manutenção preventiva e corretiva não deveria representar problema, o que não necessariamente é realidade. Já pensar nisso em casas e prédios habitacionais requer proposições mais inovadoras. Alguns avanços podem ser dados na construção dos prédios com dispositivos que facilitem a identificação de vazamentos e seus reparos, tais como extravasores aparentes de reservatórios e *shafts*.

Esta última consideração nos remete ao próprio projeto dos prédios, aspectos construtivos e de reformas prediais. Em última instância à própria normatização da construção civil.

O quinto aspecto é a qualidade ambiental do prédio, definida aqui como a soma de atributos que permitem ou favorecem um uso mais racional da água, incluindo a captação direta de águas de chuva e outras fontes alternativas com menor encargo energético e ambiental, sistemas **segregados** de instalações hidráulico-sanitárias, visando facilitar o reúso da água com qualidade adequada para usos não potáveis.

Para concluir a discussão dos aspectos que compõem o consumo de água predial convém retomar aquele que se refere ao controle, medição e tarifação do consumo. Esse aspecto perpassa e se coloca em todos os anteriores, sendo fundamental para a gestão do consumo de água e a definição da demanda atual e futura.

2.5.1 *Design* de banheiros públicos e sua influência no consumo de água

O design dos banheiros e dos aparelhos hidrossanitários nele utilizados influenciam de forma significativa o consumo de água de prédios públicos. Para investigar essa hipótese e identificar o nível de influência que esses fatores exercem no consumo de água predial, a UFBA vem realizando levantamentos na Escola Politécnica e em instalações aeroportuárias.

Os resultados até o momento obtidos, mesmo que ainda não completamente conclusivos, permitem alguns desenvolvimentos que podem contribuir com a racionalização do consumo de água nessas edificações, assim como com o aproveitamento da urina humana como fonte de nitrogênio orgânico para a produção vegetal.

Entre as conclusões obtidas destaca-se a confirmação que os banheiros de prédios públicos são utilizados, principalmente, para o atendimento à necessidade fisiológica de urinar. Para este atendimento, o uso de mictórios, relativamente ao de vasos sanitários, permite tanto uma redução muito grande do consumo de água quanto a obtenção de um efluente concentrado, mais facilmente aproveitável como fonte de nutrientes.

Na Escola Politécnica da UFBA, para cada cem visitas aos banheiros femininos, 69 se destinam a urinar, 21 a defecar e 10 ao uso exclusivo da pia (Figura 2.25). No caso dos banheiros masculinos a preferência por urinar é maior ainda (Figura 2.26).

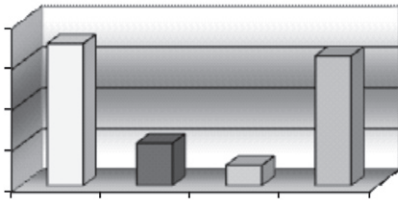
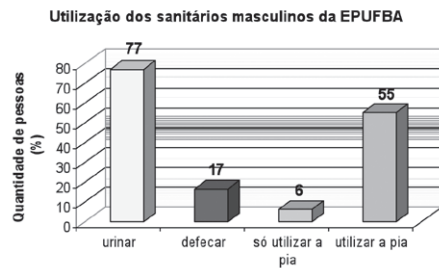



Figura 2.25	Utilização dos sanitários femininos na EPUFBA	Figura 2.26	Utilização dos sanitários masculinos na EPUFBA

Esses resultados foram obtidos por enquete utilizando painéis com computadores localizados na saída dos banheiros. Para os banheiros femininos foram computadas, entre agosto e outubro de 2008, 1631 respostas e, para os masculinos, 3191.

Já na unidade aeroportuária investigada, em junho de 2008, foram entrevistados na sala de embarque 182 passageiros masculinos e 142 do sexo feminino. Os entrevistados, ao todo, tinham utilizado 786 vezes aparelhos sanitários. Desses, apenas 2% foram aos vasos sanitários para defecar. Os aparelhos para urinar (vasos e mictórios) foram procurados 88% das vezes.

Chama a atenção que nos banheiros masculinos pesquisados (Figura 2.27) o número de vasos sanitários é, em número, maior que o de mictórios. Pode-se dizer que o

design dos banheiros masculinos incentiva o uso dos vasos sanitários, seja pela disponibilidade de vasos em relação à demanda pelo uso para defecar, seja pela privacidade oferecida pelos mictórios. Essa foi uma das principais razões que os respondentes apontaram para procurar o vaso sanitário para urinar. Na EPUFBA, 61% dos usos dos vasos sanitários são destinados a urinar. No aeroporto esse número sobe para 85%.

Considerando que uma descarga de vaso sanitário pode representar um consumo 40 vezes maior de água do que a de um mictório, pode-se apreciar uma considerável redução de consumo por meio de novas concepções (*design*) dos sanitários masculinos.

No caso dos banheiros femininos, o problema ainda é maior pelo fato de não se utilizarem ainda no país mictórios femininos. Esse é um problema que requer uma discussão mais ampla já que, na situação atual, o público feminino é obrigado a usar um aparelho inadequado para urinar (Figuras 2.28 e 2.29), o que o obriga a um esforço adicional ao evitar o contato com o aparelho.

A instalação de descargas do tipo duplo (3 L para líquidos e 6 L para sólidos) de certa forma aponta para alternativas mais racionais do uso da água que podem ser sensivelmente melhoradas com uma maior utilização de mictórios masculinos e femininos ou com vasos sanitários segregadores. Esses equipamentos permitem ainda o aproveitamento da urina, ao separá-la do contato com as fezes.

O aproveitamento da urina agrega grandes economias energéticas, conforme discutido no capítulo 6. A sua captação em áreas urbanas é facilitada pelo fato de hoje se praticar uma segregação "natural" entre as funções defecar e urinar em relação aos pontos onde estas se dão na cidade. Os dados que começam a ser levantados apontam para uma preferência pela função "defecar" nas residências dos usuários e uma relativa maior possibilidade de produção de urina humana nos locais de trabalho e lazer.

Em estudo financiado pelo fundo de pesquisa da Associação Americana e Sistemas de Água (AWWARF), observou-se que as residências que utilizavam vaso de descarga reduzida (6 litros por descarga) o consumo de água para descarga foi 50% menor que nas que utilizavam vasos comuns (MAYER, DEOREO, 1999).

No caso de se dar descarga à urina, prática habitual no Brasil, mesmo que possa ser considerada indesejável do ponto de vista do uso racional da água[9], esta pode ser dada com volumes inferiores a 1 litro, representando economia considerável de água.

Os chuveiros, responsáveis por um dos maiores ou, em alguns casos, o maior consumo de água, junto com o vaso sanitário, tem seu gasto definido pelo produto da vazão pelo tempo de uso. Quanto ao último, o controle cabe inteiramente a uma decisão do usuário, que pode tomar seu banho em 2 ou 20 minutos. Mas o primeiro, a vazão do chuveiro, pode ser melhorada com o uso de equipamentos economizadores.

Figura 2.27 Hidrômetros instalados nos sanitários da EPUFBA (acima banheiro não modificado, abaixo banheiro modificado)

A parcela referente às perdas de água é de difícil quantificação para efeito de programas de racionalização de seu uso. Em geral as perdas se encontram nas instalações e são provocadas por vazamentos, sejam estes visíveis ou não. O porte e freqüência dessas perdas se relacionam com três principais fatores: as características das instalações, tubulações, peças hidráulicas e aparelhos; a qualidade da manutenção dada a elas e a pressão interna das instalações, incluindo a rapidez da descoberta de vazamentos e o tempo que tomam para serem sanados. Não existem muitos estudos com medição da parcela referente a vazamentos intraprediais; entretanto, o que foi realizado para a AWWARF (MAYER, DEOREO, 1999), abrangendo 1188 residências em 12 cidades americanas, mostrou um percentual de 13,7% para vazamentos.

Por conta da incidência relativamente alta no consumo doméstico observado em vários países, a bacia sanitária tornou-se um dos principais exemplos de aparelhos sanitários para os quais se buscam soluções de racionalização do consumo trabalhando-se sobre a redução do volume de água descarregada em cada operação de uso. No Brasil, os estudos e desenvolvimentos acompanharam, com participação intensa do IPT, o processo de evolução das bacias. Em meados da década de 1980, o IPT e um conjunto

de grandes fabricantes de louças sanitárias desenvolveram bacias cuja descarga variava entre 4 L e 5 L de água. Hoje a normatização brasileira contempla apenas a bacia de baixo volume de descarga. Aliás, não há menção ao "baixo volume", pois o volume de água consumido nas bacias sanitárias em relação ao total do consumo na residência merece especial atenção.

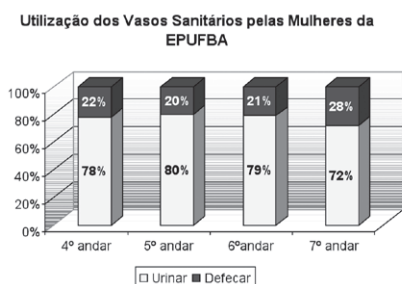
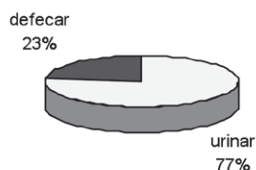



Figura 2.28	Utilização dos sanitários femininos	Figura 2.29	Enquete sobre a utilização dos sanitários femininos na EPUFBA

2.6 Experiência do Prosab sobre estudos de consumo de água em edificações

Os projetos de pesquisa das instituições UFES, UFSC e UFBA tiveram como objeto de interesse os sistemas individuais (edificações). Diferentes fontes alternativas de água e sistemas alternativos de gerenciamento de águas residuárias segregadas foram estudadas.

2.6.1 UFSC

A pesquisa da UFSC foi realizada em uma residência localizada no bairro Ratones, Florianópolis, Santa Catarina (Figura 2.30). Na residência habitam três pessoas (dois adultos e um idoso). A residência possui três quartos, dois banheiros, uma cozinha, uma sala e uma área de serviço, onde estão instalados um tanque e uma máquina de lavar roupas. Na residência foram implantados sistemas para o uso de fontes alternativas de água. As águas cinza foram tratadas e reutilizadas no vaso sanitário e para a irrigação de jardim. A água da chuva (Figura 2.31) foi tratada e reutilizada no tanque e na máquina de lavar roupas.

Um dos objetivos da pesquisa foi caracterizar quantitativamente o perfil do consumo de água na residência. Para isso, o consumo de água por peça hidrossanitária foi monitorado para então quantificar a produção de águas cinza.

A quantificação da água consumida foi realizada por meio da leitura diária de um conjunto de cinco hidrômetros instalados nas tubulações de alimentação dos pontos de uso. Os hidrômetros faziam as quantificações da água consumida nas seguintes peças:

- hidrômetro 1: pia da cozinha;
- hidrômetro 2: chuveiro e lavatório;
- hidrômetro 3: vaso sanitário;
- hidrômetro 4: tanque e máquina de lavar, alimentados com água da rede pública;
- hidrômetro 5: tanque e máquina de lavar, alimentados com água da chuva.

A Figura 2.32 apresenta um esquema geral da distribuição e disposição de água potável, águas negras, cinza e água de chuva na residência, bem como a locação dos hidrômetros. Nem todos os hidrômetros faziam a medição de água potável: o hidrômetro 3 fazia medição de águas cinza e, o hidrômetro 5, de água de chuva.

As Tabelas 2.9 e 2.10 apresentam os resultados da quantificação do consumo de água (potável/reúso) nos pontos geradores de águas cinza e águas negras referentes ao projeto da UFSC, respectivamente, correspondentes aos meses de janeiro de 2007 a agosto de 2008.

A Figura 2.33 apresenta a distribuição em percentual do consumo de água na residência, por peça hidrossanitária.

Figura 2.30 Residência experimental da UFSC (bairro Ratones, Florianópolis-SC)

Figura 2.31 Sistema de captação de água de chuva na residência experimental UFSC

As unidades onde houve o maior consumo de água foram o tanque e a máquina de lavar roupas, com uma média de 150 L.dia, ou 50 L.pessoa.dia, correspondendo a 35% da água consumida na residência. Observa-se que a alimentação desses pontos era realizada preferencialmente com água de chuva, sendo que esta supriu aproximadamente 40% da demanda de água. Após a máquina e o tanque, em termos de maior consumo de água, estavam o lavatório e o chuveiro, representando 29% do consumo da residência, com 124 L.dia ou ainda 41 L.pessoa.dia; o vaso sanitário representou 21% do consumo, com 92 L.dia ou 31 L.pessoa.dia; e representando a menor parcela – 15% – estava a pia da cozinha, com 65 L.dia ou 22 L.pessoa.dia.

Tabela 2.9 > Quantificação do consumo de água nas peças hidrossanitárias geradoras de águas cinza

MÊS/ANO	LAVATÓRIO E CHUVEIRO (L.DIA)	TANQUE E MÁQUINA DE LAVAR (L.DIA)	TOTAL DE ÁGUAS CINZA PRODUZIDAS (L.DIA)
jan/07	110,3	164,9	275,1
fev/07	109,0	153,2	262,3
mar/07	121,4	160,8	282,2
abr/07	126,7	129,4	256,2
mai/07	119,3	172,5	291,8
jun/07	125,6	188,6	314,1
jul/07	115,4	183,5	298,9
ago/07	131,8	138,1	269,9
set/07	125,0	240,5	365,5
out/07	141,8	170,7	312,5
nov/07	138,2	203,1	341,3
dez/07	128,3	114,8	243,1
jan/08	104,1	66,9	171,0
fev/08	125,9	96,9	222,8
mar/08	–	166,4	–
abr/08	–	62,8	–
mai/08	–	179,5	–
jun/08	–	151,7	–
jul/08	122,4	155,1	277,5
ago/08	140,2	92,2	232,4
Média	**124,1**	**149,6**	**276,0**

Pode-se observar ainda pela Figura 2.32 que as águas negras representam 36% dos efluentes gerados na residência e, as águas cinza, 64%.

Rede de abastecimento público

Hidrômetro geral

Reservatório superior

H4

H1

Reserv. superior de reúso

H2

Cisterna água de chuva

H5

H3

Pia Cozinha

Vaso Sanitário

Chuveiro Lavatório

Tanque Máquina de Lavar

Linha de tratamento de águas negras

Linha de tratamento de águas cinzas

Infiltração no solo

Reserv. inferior de reúso

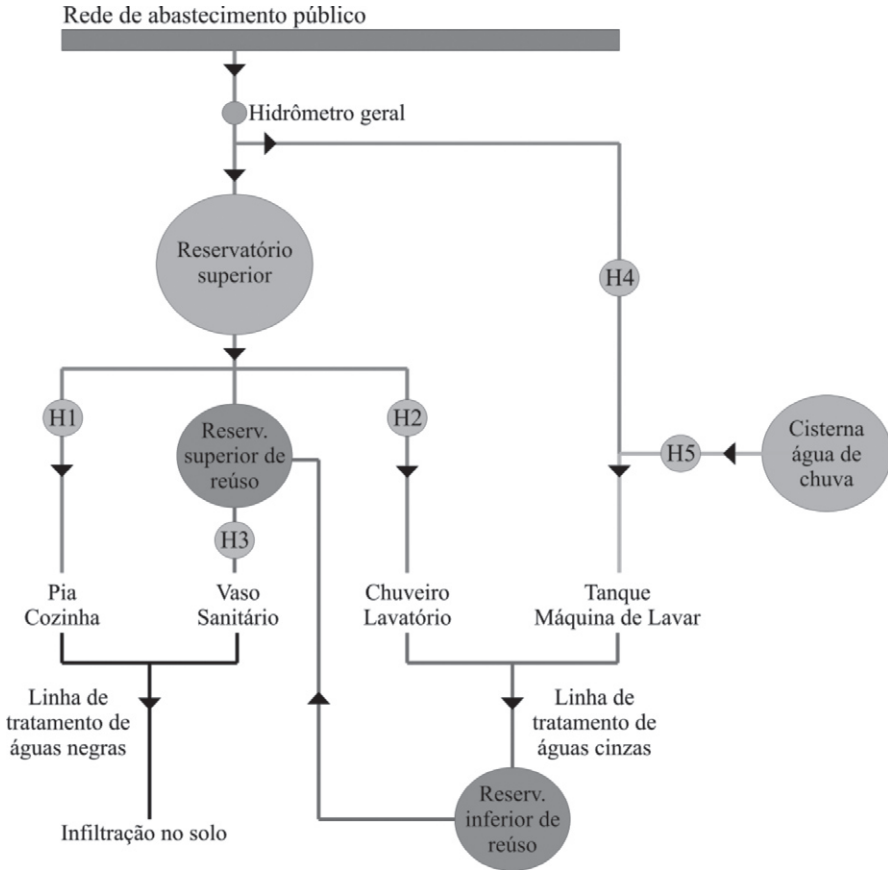



Figura 2.32 Distribuição e disposição de água e efluentes na residência (legenda: H = hidrômetro)

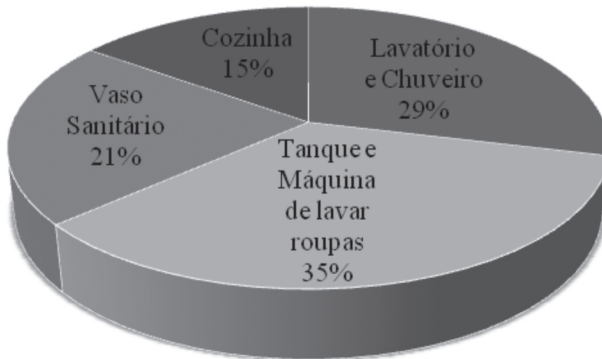



Figura 2.33 Distribuição do consumo nas peças hidrossanitárias

A Tabela 2.10 apresenta o consumo de água por peça hidrossanitária obtido por diversos autores de diferentes localidades.

Tabela 2.10 > Quantificação do consumo de água nas peças hidrossanitárias geradoras de águas negras

MÊS/ANO	VASO SANITÁRIO (L/DIA)	PIA DA COZINHA (L/DIA)	TOTAL DE ÁGUAS NEGRAS PRODUZIDAS (L/DIA)
jan/07	61,9	58,0	119,9
fev/07	58,0	61,2	119,2
mar/07	62,2	60,9	123,2
abr/07	108,4	59,8	168,2
mai/07	61,7	55,5	117,2
jun/07	124,6	62,3	186,9
jul/07	299,7	56,2	355,9
ago/07	115,9	49,0	164,9
set/07	88,2	60,5	148,6
out/07	90,5	60,1	150,5
nov/07	85,6	80,4	166,0
dez/07	81,8	125,4	207,2
jan/08	59,2	56,6	115,8
fev/08	66,6	59,9	126,5
mar/08	67,6	79,7	147,3
abr/08	71,9	68,4	140,3
mai/08	78,4	60,3	138,7
jun/08	96,7	72,4	169,2
jul/08	79,2	57,7	136,9
ago/08	89,1	57,2	146,3
Média	**92,4**	**65,1**	**157,4**

Comparando os dados de consumo obtidos na residência estudada em Florianópolis com os dados dos autores apresentados na Tabela 2.11, podem-se fazer algumas considerações. O consumo de água na cozinha da residência (22 L.pessoa.dia) está dentro da faixa apresentada pelos outros autores (2,5 L.pessoa.dia–30 L.pessoa.dia), observando-se que as três pessoas da família em questão fazem pelo menos três refeições diárias em casa. O consumo no vaso sanitário (31 L.pessoa.dia) também encontra-se dentro da faixa da Tabela 2.11 (22 L.pessoa.dia–69 L.pessoa.dia), observa-se que o vaso utilizado na residência é com caixa acoplada, e o maior consumo referenciado na Tabela 2.11, de 69 L.pessoa.dia, foi medido em vasos sanitários com válvula de descarga. O consumo

no chuveiro e lavatório (41 L.pessoa.dia) também está dentro das faixas dos outros autores (31 L.pessoa.dia–62 L.pessoa.dia). O consumo de água no tanque e na máquina de lavar roupas da residência foi o segundo mais representativo da Tabela 9, comparado somente ao valor trazido pelo trabalho de Mayer *et al. apud* Vickers (2001), que corresponde a uma residência com aparelhos mais antigos, ou que não são economizadores de água e energia. Observa-se que os hábitos da família em questão, bem como a característica do aparelho utilizado – a máquina de lavar roupas – contribuíram para essa diferença, sendo o consumo de 50 L.pessoa.dia considerado atípico. Vale ressaltar ainda que, antes do uso da máquina de lavar pela família, havia somente o tanque, e o consumo de água naquela ocasião para lavação de roupas era de 25 L.pessoa.dia.

A Figura 2.34 apresenta a distribuição mensal de consumo por unidade, ao longo de todo período de monitoramento. Aparentemente não houve grande variação sazonal de consumos ao longo do período, com exceção do consumo de água no vaso sanitário no mês de julho, que foi atípico.

2.6.2 UFES

Foi realizada a caracterização do consumo de água e energia em dois edifícios, um convencional (Figura 2.35) e um dotado de reúso de águas cinza (Figura 2.36). Ambos possuem hidrometração individual. No edifício dotado de reúso foi avaliada a produção de água cinza (que corresponde ao volume de água de residuação proveniente de chuveiros, lavatórios, tanques e máquinas de lavar roupa) e o consumo ou a demanda de água de reúso (que corresponde ao volume de água utilizado em vasos sanitários e em torneiras de uso geral das áreas comuns do condomínio).

A fim de complementar o sistema de medição já existente nas edificações e setorizar o consumo, foram instalados mais três hidrômetros, nos pontos descritos a seguir, para o edifício convencional:

- colunas de alimentação de água fria – um hidrômetro em cada coluna de alimentação;
- área de lazer – para registro do volume de água consumido nas áreas comuns dos edifícios;
- No edifício dotado de reúso, os seguintes pontos do sistema foram hidrometrados:
- colunas de alimentação de água potável e reúso;
- área de lazer e uso do condomínio para água potável e reúso;
- entrada e saída do tratamento.

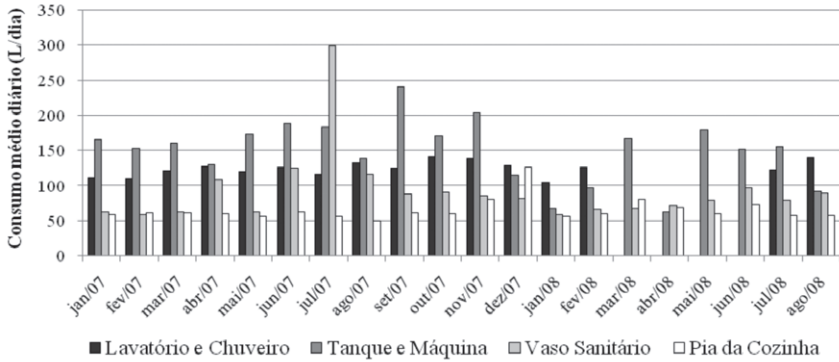



Figura 2.34 Distribuição média mensal do consumo de água nas peças hidrossanitárias

Figura 2.35 Edificação com sistema hidrossanitário convencional

Figura 2.36 Edificação com sistema de reúso de águas cinza

O monitoramento do consumo de água e energia nos edifícios foi realizado em duas etapas: a primeira entre janeiro e abril e a seguinte de julho a setembro. Os meses foram escolhidos a fim de correlacionar posteriormente os consumos nas estações verão e inverno, ou seja, em meses quentes e frios. No edifício convencional as duas etapas foram concluídas no ano de 2007, e no ano de 2008 para o edifício dotado de reúso.

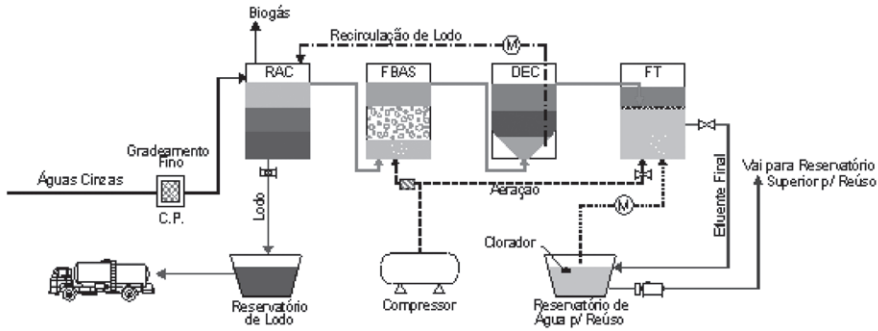



Figura 2.37 Fluxograma da ETAC

Em cada etapa, o acompanhamento do consumo foi realizado por meio de leituras diárias, sempre às 8h, de todos os hidrômetros e medidores de energia da edificação, além do levantamento de perfis de consumo de 12h e 24h. No caso dos perfis, as leituras dos hidrômetros foram registradas a cada 2h, também com início às 8h.

Figura 2.38 Estação de tratamento de águas cinza (ETAC)

Os perfis de 12h, realizados semanalmente, totalizaram ao final de cada campanha quatorze perfis, sendo dois para cada dia da semana. Quanto às leituras de 24h, foram gerados quatro perfis, dois em dias de quarta-feira e dois em dias de quinta-feira. Com os dados de consumo foram gerados índices *per capita*, por dormitório e por m² de água e energia. O consumo energético das bombas de recalque foi medido por meio eletrônico com a instalação de um analisador de energia, modelo RE6000 Embrasul.

O sistema hidrossanitário na edificação com reúso foi concebido de forma a coletar as águas residuárias segregadas em águas cinza e águas negras (efluentes de vasos sanitários) e duas linhas independentes e exclusivas para o abastecimento de água: uma de reúso e a outra de água potável. As águas cinza e as águas negras são coletadas por tubulações distintas e conduzidas a tratamentos diferenciados. Após o tratamento da água cinza existe um reservatório inferior e outro superior para armazenagem e distribuição da água de reúso. Os reservatórios de água de reúso e água potável são independentes. Foi

previsto a reversão do sistema de reúso para abastecimento com água potável, em caso de necessidade. As águas negras ou fecais são conduzidas à rede pública de esgoto sanitário.

A estação de tratamento de águas cinza (ETAC) é composta por um Reator Anaeróbio Compartimentado em três tanques (RAC1, RAC2, RAC3), um Filtro Biológico Aerado Submerso (FBAS), um Decantador (DEC), um Tanque de Equalização de Vazão, dois Filtros Terciários de Membrana e um Clorador de Pastilha (Figura 2.37). É constituída por 6 módulos com dimensões individuais de 1,5m x 1,m5 x 2,2m (BxLxH) (Figura 2.38). A área total da Etac, incluindo a circulação, é de 27m². O fluxo da estação ocorre de acordo com os usos dos lavatórios e chuveiros dentro do prédio e a população atendida é de 240 pessoas/dia.

Para o monitoramento do desempenho da ETAC foram realizadas coletas nos seguintes pontos: água cinza bruta, RAC1, RAC2, RAC3, FBAS, decantador, tanque de equalização, filtro e reservatório inferior com cloração.

Os resultados indicam uma tendência muito semelhante entre os consumos de ambas as edificações, com picos de consumo entre 6h e 8h e entre 12h e 14h. Outro pico de consumo é observado entre 18h e 20h no edifício convencional. Ambos os edifícios apresentam queda significativa do consumo entre 0h e 4h. Os índices de consumo *per capita*, por dormitório e por área, calculados para os dois edifícios avaliados, são apresentados na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 > Comparativo dos índices de consumo *per capita*, por dormitório e por área do edifício convencional e do edifício dotado de reúso de águas cinza

AUTOR/ENTIDADE	ANO	LOCAL	PADRÃO DA EDIFICAÇÃO	PER CAPITA L·(HAB·DIA)–1	POR DORMITÓRIO L·(DORMITÓRIO·DIA)–1	POR ÁREA L(M–2·DIA–1)
Resultados da Pesquisa	2007	Vitória - ES	Convencional	216	181	6,5
	2008	Vitória - ES	Dotado de reúso	196	150	4
Berenhauser & Pulici	1983	Brasil	Convencional	-	400 l/dorm.fam + 200 l/dorm. empregada	-
CMHC[1]	2001	Canadá	Convencional/Apto. familiar	-	-	2,24
Mancityre	1996	Brasil	Convencional	300 a 400	300 a 400	-
Mayer	1999	EUA -Texas	Convencional	263	-	-
NBR 12211	1992	Brasil	Norma Brasileira	150 a 250	-	-
PNCDA[2]	1998	Brasil	Convencional	109	-	11
Rodrigues	2005	Vitória - ES	SIMIC	155	188	5
			BASC	189	218	6
			SECO	223	242	6

FONTE: CANADA MORTGAGE AND HOUSING CORPORATION – DADOS DA EDIFICAÇÃO FAMILIAR
2 PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA

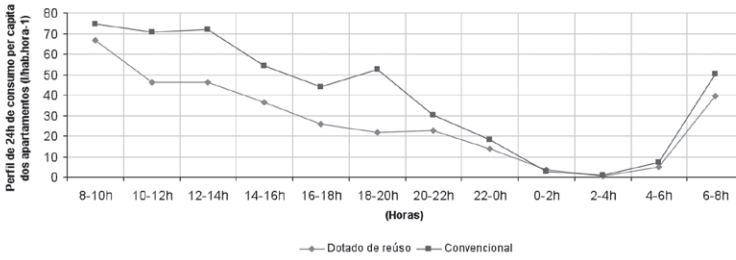



Figura 2.39 Comparativo dos perfis de consumo *per capita* em 24h – verão

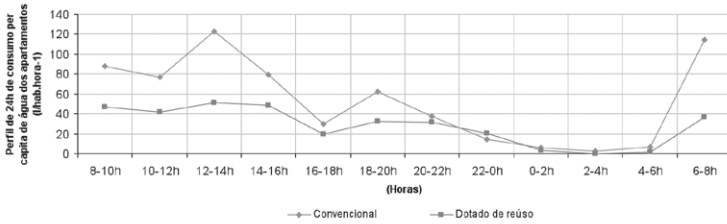



Figura 2.40 Comparativo dos perfis de consumo *per capita* em 24h – inverno

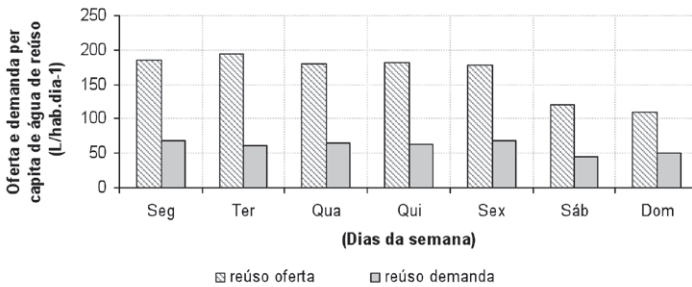



Figura 2.41 Oferta e demanda *per capita* de água cinza e de reúso

Os índices de consumo encontrados mostram-se superiores para o edifício convencional quando comparados ao dotado de reúso. No entanto, os valores *per capita* encontrados para ambos os edifícios estão dentro dos limites estabelecidos pela NBR 12211/92 de 150–250 litros hab^{-1}. dia^{-1}.

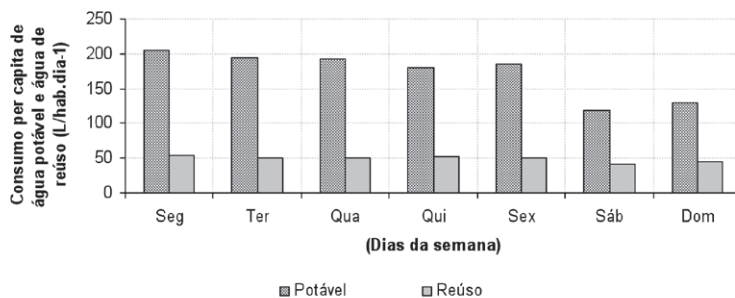



Figura 2.42 Consumo *per capita* de água potável e água de reuso

Tais índices foram comparados com os levantados por Rodrigues (2005) em estudo realizado na mesma região, em três diferentes grupos de edificações: sem dispositivos economizadores (Seco), dotados de bacia sanitária caixa de descarga acoplada (Basc) e dotados de bacias sanitárias com caixa de descarga acoplada e sistema de medição individualizada do consumo de água (Simic. Os índices *per capita* de consumo de ambos os edifícios apresentaram-se superiores aos encontrados por Rodrigues (2005) para os tipos SIMIC e BASC e inferior ao Seco. Quando comparados aos valores descritos pelo PNCDA (1998), os índices *per capita* de consumo de água encontrados na pesquisa apresentam-se bem maiores para os dois edifícios. Já o índice de consumo de água por área apresenta-se superior ao apresentado por CMHC (2001) para os dois edifícios avaliados, e bem menores quando comparados ao valor encontrado em pesquisas do PNCDA (1998).

Já os índices obtidos de consumo por dormitório quando comparados aos encontrados por Berenhauser & Pulici (1983) e Mancityre (1996) mostram-se menores, principalmente para o edifício dotado de reúso. O índice referente ao edifício convencional ficou muito próximo do encontrado por Rodrigues (2005) para edificações do tipo Simic.

Pode-se observar que o consumo *per capita* diário de água de reúso em um período do monitoramento corresponde a cerca de 37% da produção *per capita* de água cinza (Figura 2.41). Por outro lado, o consumo *per capita* de água de reúso dos apartamentos perfaz cerca de 25% do consumo de água potável nos apartamentos da edificação (Figura 2.42). Entretanto, quando analisado o consumo de água potável e de água de reúso no edifício como um todo (apartamentos e condomínio), a proporção de água de reúso aumenta para cerca de 26%.

A observação das duas figuras confirma, ainda, uma tendência muito semelhante entre os dias da semana, que apresentam um consumo mais elevado, e os finais de semana, um consumo menor.

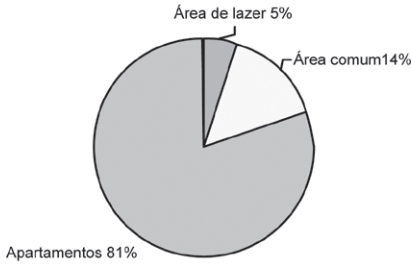



Figura 2.43 Setorização do consumo de água de reúso no edifício

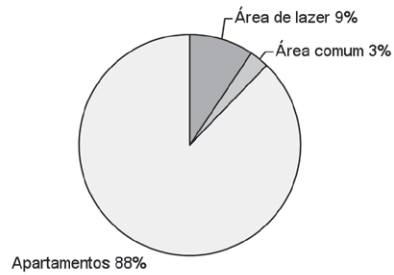



Figura 2.44 Setorização do consumo de água potável no edifício

No que diz respeito à setorização do consumo dos diferentes tipos de água na edifi-

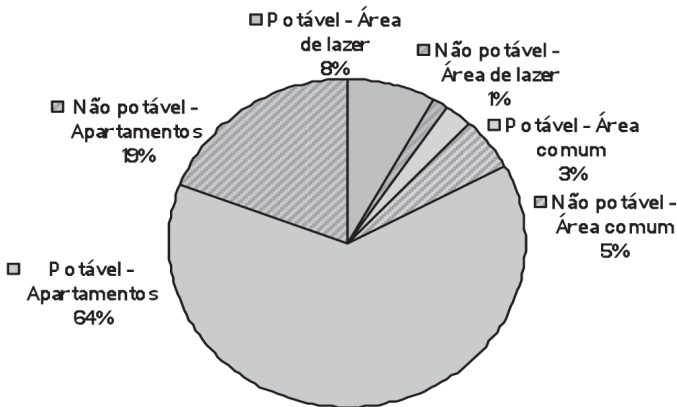



Figura 2.45 Distribuição do consumo de água nos setores da edificação dotada de reuso

cação, observa-se um maior consumo de água de reúso na área comum, que engloba a rega da área permeável, a limpeza das garagens, escadas e área do condomínio (Figuras 2.43 e 2.44). O consumo de água potável nesse setor não é muito significativo, visto que seu uso é destinado ao consumo dos empregados. O consumo da área de lazer corresponde ao consumo do salão de festas, que possui área de churrasqueira, piscina e academia. Nesse setor, o consumo de água potável é mais significativo que o consumo de água de reúso, uma vez que o reúso restringe-se a duas bacias sanitárias e uma torneira para limpeza.

Pode-se inferir da observação que o consumo mais representativo de água corresponde aos apartamentos, que consomem 64% de água potável e 19% de água não potável (uso na bacia sanitária) (Figura 2.45). A parcela de água consumida pelo condomínio na área de lazer e na área de uso comum representa 17% do total, sendo 6% de água não potável (uso na bacia sanitária, rega de jardins e lavagem de área comum).

Por outro lado, a água cinza bruta apresentou 125,5 NTU (turbidez), 300 mgO2.L (DBO_5), 315 mgO2.L (DQO), 181 mg.L (SST), 2 mg.L (SSD) e 94 mg.L de $CaCO_3$. O RAC apresentou eficiência de remoção de 41% para turbidez, 70% para SST, 97,5% para SSD, 65% para DQO e 70% para DBO5. O polimento do efluente anaeróbio, realizado pelo FBAS, apresentou eficiências de 80% para turbidez e 94% para SST, 36% DQO e 60% DBO5 e não houve significativa remoção de SSD nessa etapa do tratamento. Após a desinfecção o efluente apresentou 8 NTU (turbidez), 10 mgO2.L (DBO5), 25mg.L (DQO), 9 mg.L (SST) e 62mg.L de $CaCO_3$. Não foi observada a presença de SSD nessa fase do tratamento. A água cinza tratada (água de reúso) produzida pela Etac atende alguns limites internacionais para SST e DBO_5 estabelecidos pela EPA (Washington, Nevada – 30mg.L DBO_5 e 30mg.L SST), pela Austrália (20mg.L DBO_5 e 20mg.L de SST) e por padrões canadenses (30mg.L DBO_5 e 30mg.L). Comparando a eficiência global da Etac estudada com a de Bazarella (2005), composta por RAC + FBAS + Filtro Terciário + Cloração, observa-se que as eficiências finais apresentaram características semelhantes como observado na Tabela 2.12.

Tabela 2.12 > Comparação das eficiências de remoção

REFERÊNCIA	TURBIDEZ (NTU)	COR (uC)	SST (mg/L)	DBO_5 (mg/L)	DQO (MG/L)
Bazzarella 2005	98%	99%	81%	99%	97%
Resultados da pesquisa 2008	85%	92%	76%	86%	98%

Sulfato e sulfeto: não foram observados problemas de odor provocados pela ETAC, apesar de as concentrações de sulfato terem sofrido redução, resultando em um leve aumento de sulfeto no RAC. O odor característico de sistemas anaeróbios, proveniente do H2S, foi detectado nas amostras coletadas desse reator, mas como a ETAC é fechada e o gás é canalizado para fora do prédio, o odor não causou transtornos. Nas demais etapas de tratamento, as concentrações tanto de sulfato quanto de sulfeto não apresentaram alteração significativa.

Remoção de microorganismos: a água cinza bruta apresentou em média geométrica níveis altos de coliformes totais (CT) ($2{,}04 \times 10^7$) para reúso em vaso sanitário segundo as normas internacionais como EPA (2004). Entretanto os níveis apresentados, em média geométrica, para *E. coli* ($3{,}33 \times 10^1$) foram baixos, mas também não se encontram de acordo com as normas citadas acima, indicando a necessidade de tratamento para o reúso.

Após a filtração observou-se uma remoção de 90% de CT e 99,7% de *E. coli*. Nessa etapa do tratamento foi alcançado para *E. coli* o valor proposto pela NBR 13.969 – 500 UFC.100 mL. Como esperado, a cloração foi bastante eficiente na remoção de CT e *E.coli*, chegando a concentrações compatíveis aos padrões mais restritivos (Figuras 2.46 e 2.47).

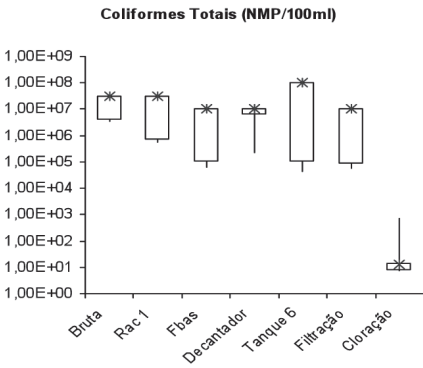



Figura 2.46 Remoção de CT

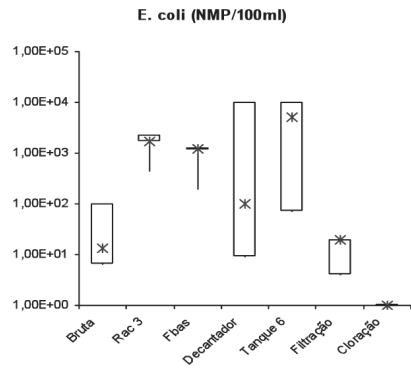



Figura 2.47 Remoção de *E. coli*

A água de reúso produzida nessa pesquisa apresentou valores de $1,51X10^2$ de CT e $3,17X10^0$ possibilitando sua reutilização em descarga de vaso sanitário segundo limites estabelecidos por legislações internacionais e pela norma brasileira NBR 13.969. Valores próximos foram encontrados por Bazarella (2005) (Tabela 2.13).

Tabela 2.13 > Características microbiológicas da água de reúso

REFERÊNCIA	COLIFORMES TOTAIS (NMP/100ML)	*E. COLI (NMP/100ML)*
Bazzarella 2005	5,04E+02	3,2E+01
Resultados da pesquisa 2008	1,51E+02	1,00E+00

Finalmente, não foi detectada a presença de *Salmonella spp*, ovos de helmintos e protozoários em todo sistema de tratamento e na água de reúso.

2.6.3 UFBA

A pesquisa da UFBA investigou alternativas para a racionalização do uso da água e o seu reúso em residências populares e edifícios públicos. Em escala residencial, a referida pesquisa realizou medições de consumo individuais de água em um bairro de baixa

renda denominado Mapele, localizado no município de Simões Filho, (região metropolitana de Salvador). A Figura 2.48 mostra uma imagem dessas residências, as quais contaram com sistema de aproveitamento de água de chuva para lavagem de roupas e um sistema simples de reúso de águas cinza, provenientes da lavagem de roupas, para aproveitamento nas descargas sanitárias. A equipe da UFBA treinou os moradores para que fizessem as leituras nos hidrômetros que foram instalados nas residências (Figura 2.49). Essa iniciativa serviu para sensibilizá-los quanto à importância da água.

Figura 2.48 Sistema de aproveitamento de água de chuva em residências populares (Simões Filho, Salvador-BA)

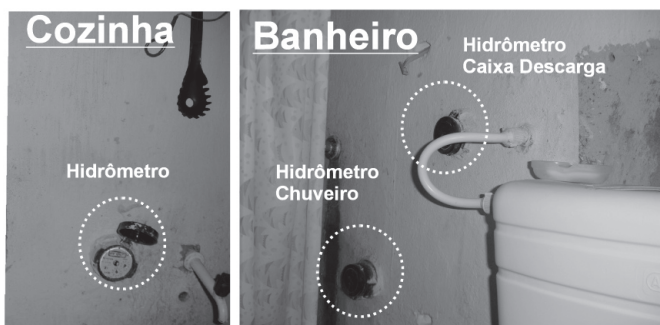



Figura 2.49 Hidrômetro instalado nos ramais de utilização (torneira de cozinha)

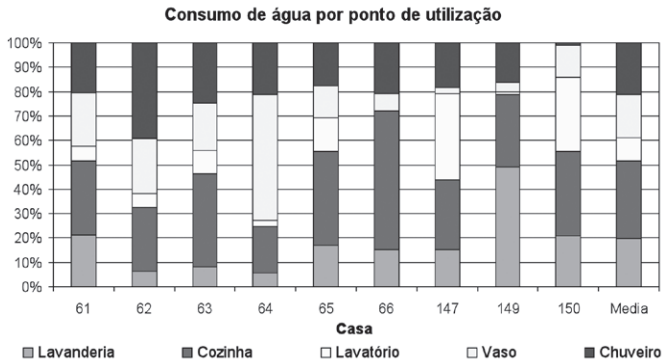



Figura 2.50 Hidrômetro instalado nos ramais de utilização (torneira de cozinha)

Tabela 2.14 > Consumo de água para diferentes usos (L.dia)

USO	MEDIA	DESVIO	CV	MEDIANA	INTERVALO DA MEDIA IC=95%
Lavanderia	14,59	31,4	215,22	7,5	12,42 - 16,76
Cozinha	24,98	29,61	118,52	17,5	22,91 - 27,06
Lavatório	8,65	27,92	322,78	5,0	6,66 - 10,64
Vaso	19,83	47,65	240,3	7,5	16,07 - 23,58
Chuveiro	18,25	24,768	135,72	10,0	16,38 - 20,12
Total	80,16	82,91	103,4	55,0	74,34 - 85,99

A Tabela 2.12 e a Figura 2.42 apresentam o consumo de água monitorado nas residências populares para cada uso interno.

Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil. In: Caderno de Recursos Hídricos. CONEJO, J. G. L. (Coord.), MATOS, B. A. (Coord. Exec.), v. 2, 126 p., 2007.

BERENHAUSER, C. J. B.; PULICI, C. Previsão de Consumo de água por tipo de Ocupação do Imóvel. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12 de dezembro de1983, Balneário Camboriú, Santa Catarina. Anais... Santa Catarina: Abes, 1983.

BUCHBERGER, S. G. & WELLS, G. J. Intensity, Duration, and Frequency of Residential Water Demands. Journal of Water Resources Planning and Management, n. 122, p. 11–19. ASCE, 1996.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Panorama e Estado dos Recursos Hídricos do Brasil. v. 1, 2006.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, 2006, Parte 1, 2007.

DEOREO, W.B. *et al*. The end uses of hot water in single family homes from flow trace analysis. Aquacraft Inc. Report, 2000.

DEOREO, W.D. The role of water conservation in a long-range drought plan. Journal of American Water Works Association, v. 98, n. 2, p. 94–101, 2006.

ESREY, S.A., et al. Effects of improved water supply and sanitation on ascariasis, diarrhoea, dracunculiasis, hookworm infection, schistosomiasis, and trachoma. Bull. WHO 69(5), p. 609–621, 1991.

FANE, S.; REARDON, C. Wastewater reuse – design for lifestyle and the future. 4 p. 2002.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. Review of World Water Resources by Country. Water Reports, ISSN 1020-1203, 2003.

FARLEY, M.; TROW, S. Losses in Water Distribution Networks – A practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control. [S.l.]: IWA Publishing, 2003.

GERMANOPOULOS, G. & JOWITT, P.W. Leakage reduction by excess pressure minimization in a water supply network. Proc. ICE Proceedings, part 2, June, p. 195–214, 1989.

GHISI, E.; FERREIRA, D. F. Potential for potable water savings by using Rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. Building and Environment. v. 42, p. 2512–2522, 2007.

GIROL, G. V. Análise de perdas reais em um setor do sistema de abastecimento de água no município de Capinzal-SC. 85 f, Trabalho de conclusão de curso – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.., Santa Catarina, 2008.

GLEICK, P.H. (1996). Basic Water Requirements For Human Activities: Meeting Basic Needs Water International, v. 21, p. 83-92 (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2004)

GOODWIN, S.J. The results of the experimental program on leakage and leakage control. Tech. Rep. TR 154. Water Research Centre, p. 52, 1980.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). Uso racional da água em edificações. 332 p. Rio de Janeiro: Abes, 352 p., 2006.

JACOBS, H. E. & HAARHOFF. Prioritisation of parameters influencing residential water use and wastewater flow. Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA. IWA Publishing, v. 56.8, p. 495–514, 2007.

LAMBERT, A. Monitoramento, medição, controle e indicadores de perdas: metodologia IWA. In: ENCONTRO TÉCNICO SOBRE REDUÇÃO E CONTROLE DE PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA. Salvador, Bahia, 2002.

LOUREIRO, D. et al. Profiling Residential Water Consumption. In: WATER DISTRIBUTION SYSTEMS ANALYSIS SYMPOSIUM 2006, n. 247, p. 44–44. ASCE, 2006.

MACINTYRE, A. J. Instalações hidráulicas prediais e industriais. 3ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1996.

MAGALHÃES JR., A.P. A situação do monitoramento das águas no Brasil: Instituições e Iniciativas.

RBRH – Revista brasileira de recursos hídricos, v. 5, n. 3, jul/set 2000, p. 113–115. Porto Alegre-RS: ABRH, 2000.

MAYER, P.W., W.B. DEOREO, A. DIETEMANN, & T. SKEEL. Residential Efficiency: The Impact of Complete Indoor Retrofits. In: AWWA ANNUAL CONFERENCE PROCEEDINGS, Washington, D.C, 2001.

MIRANDA, E.C. Avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água: Indicadores de perdas e metodologias para análise de confiabilidade. 201 f. Dissertação (Mestrado) –Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil, Brasília-DF:, 2002.

MAYER, P.W., DEOREO, W.B. Residential end uses of water. 310 p. AWWARF, 1999.

MONTENEGRO, M. H. F. & SILVA, R. T. Economia de água: quadro das necessidades e linhas de ação. In: ANAIS DO SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECONOMIA DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO (28 a 30 de outubro de 2006). São Paulo: IPT, p. 7–26, 1987.

MOREL A.; DIENER S. Greywater Management in Low and Middle-Income Countries: Review of different treatment systems for households or neighborhoods. Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), 96 p., 2006.

OLIVEIRA, L.H. Metodologia para a implantação de programa de uso racional da água em edifícios. São Paulo, 1999.

PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA. Ministério Do Planejamento e Orçamento. Secretaria De Política Urbana. Documentos Técnicos de Apoio. Brasília, 1998.

RODRIGUES, L. C. S. Avaliação da eficiência de dispositivos economizadores de água em edifícios residenciais em Vitória-ES. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

ROSEGRANT, M. W. & CAI, X. & CLINE, S. A. Global Water Outlook to 2025 – Averting an Impending Crisis; Rosegrant, IFPRI, 2004.

SNIS. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2005. Brasília, MCIDADES.SNSA, 2006.

SURENDRAN, S.; WHEATLEY, A. D. Grey-water reclamation for non-potable re-use. Journal of the chartered institution of water and environmental management, p. 406–413, 1998.

SWARTZ, C.D. AND OFFRINGA, G. Trend Report: Report On Trends In South Africa / Sub-Sahara Africa. Techneau Project Report. Eu Sixth Framework Project, 2006.

TERPSTRA, P.M.J. Sustainable water usage systems – models for the sustainable utilization of domestic water in urban areas. Water Science & Technology 39 5, p. 65–72, 1999.

THACKRAY, J.E., et al. The Malvern and Mansfield studies of domestic water usage. ICE Proceedings 64(1), p.37–61, 1978.

UNESCO. Water: a shared responsibility. A United Nations World Water Development Report 2. ISBN:92-3-104006-5. Paris (França): Unesco/Berghahn Books Publishers, 584 p., 2006.

VICKERS, A. Handbook of water use and conservation. Amherst, EUA: Water Plow Press, 2001.

ZYL, H. J. V., ILEMOBADE, A. A. & ZYL, J. E. V. An Evaluation of Domestic and Non-Domestic Water Consumption in South Africa. In: WATER DISTRIBUTION SYSTEMS ANALYSIS SYMPOSIUM 2006, n. 247, p. 46-46. ASCE, 2006.

Notas

1 Segundo Montenegro e Silva (1987) o termo consuntivo é tratado no caso em que a água, após sua utilização, não é devolvida à bacia hidrográfica.

2 Organização internacional, fundada em 1999, cujo objetivo é auxiliar profissionais que atuam no setor de água a encontrar soluções pragmáticas, substanciais e inovadoras.

3 O conceito apresentado considera perdas reais somente aquelas ocorridas até o ponto sob responsabilidade do prestador de serviço de saneamento, não sendo considerada perda real no balanço hídrico o volume perdido a partir desse ponto e no interior das edificações.

4 $I_p = \frac{Volume_{produzido} - Volume_{micromedido}}{Volume_{produzido}}$

5 Segundo o Programa Brasileiro de Etiquetagem os chuveiros devem ter vazão de 3 L.min ou superiores para fornecer um banho adequado (ALVES, ROCHA & GONÇALVES, 2006)

6 O Projeto de Norma Brasileira 02:136.01.008 – Parte 6 indica o valor máximo do consumo de água em chuveiros de 9 L.min. Por outro lado, estudos realizados em São Paulo mostram ser comum um tempo de banho superior a 15 minutos (ALVES, ROCHA & GONÇALVES, 2006) .

8 A duração do tempo de banho de 8 minutos foi adotada no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE (desdobramento do PROCEL, Eletrobrás) como valor médio razoável e provável (ALVES *et al.*, 2006).

9 O Projeto de Norma Brasileira 02:136.01.008 – Parte 6 indica o valor máximo do consumo de água em chuveiros de 9 L/min. Por outro lado estudos realizados em São Paulo mostram ser comum um tempo de banho superior a 15 minutos.

10 Efeito *"if it is yellow let it mellow"* ("se é amarelo, deixe amadurecer"). Em notícia divulgada pelo jornal britânico The Independent, o então prefeito de Londres, Ken Livingston, apela para que os londrinos sigam o exemplo dele e sua família de não dar descarga nos sanitários após o ato de urinar. http://www.independent.co.uk/ acessado em 2 de maio de 2006.

3 Consumo de Energia

Benedito Cláudio da Silva, Peter Batista Cheung, Monica Pertel, Ricardo Franci Gonçalves, Asher Kiperstok, Luiz Sérgio Philippi, Heber Pimentel Gomes e *Wolney Castilho Alves*

Esse capítulo tem por objetivo apresentar conceitos relacionados ao consumo de energia nos sistemas de distribuição de água, tanto públicos quanto prediais, buscando introduzir, ou reforçar, o tema energia aos profissionais da área de saneamento. Dessa forma, são apresentados conceitos básicos sobre fundamentos de energia, classificação de consumidores, tarifação e quantificação da energia consumida. Além disso, destaca-se o comportamento das estações de bombeamento, por serem os elementos dos sistemas de distribuição responsáveis pelo maior consumo de energia. Descrevem-se as curvas de operação das bombas hidráulicas e as principais formas de controle para sua operação, destacando-se a relação com o consumo de energia. Finalmente, apresentam-se alguns exemplos de produtos desenvolvidos no âmbito da rede 5 / PROSAB 5.

3.1 Consumo de energia: conceitos

3.1.1 Conceitos básicos

Para embasar estudos técnicos e econômicos sobre o consumo de energia elétrica em instalações de bombeamento de água, torna-se importante a compreensão de alguns conceitos envolvendo fenômenos elétricos. Assim, nos itens seguintes seguem algumas definições que poderão esclarecer o entendimento e aplicação do conteúdo desse e dos demais capítulos.

3.1.1.1 Tensão elétrica

É a diferença de potencial (d.d.p.) entre dois pontos. Quando há concentração diferente de carga elétrica, isto é, de elétrons entre dois pontos, diz-se então que existe tensão elétrica entre esses dois pontos. Os equipamentos que fornecem diferença de potencial entre seus terminais são chamados de fontes ou geradores de tensão elétrica, pois são equipamentos capazes de produzir internamente o deslocamento de elétrons entre os terminais (do pólo negativo para o positivo), através de uma força chamada força eletromotriz (f.e.m.). Sua unidade é o *Volt* (V), do qual deriva o nome do instrumento para medir a grandeza elétrica, o voltímetro. Se essa diferença de potencial mantém os pólos positivo e negativo constantes no tempo, a tensão elétrica é denominada contínua, como ocorre nos terminais de baterias e pilhas químicas ou de fontes eletrônicas retificadas. Caso a diferença de potencial alterne os pólos positivo e negativo com o tempo, a tensão elétrica é denominada alternada, como ocorre em geradores elétricos de usinas e alternadores.

3.1.1.2 Gerador monofásico

É o equipamento elétrico constituído por uma única bobina que gira com velocidade angular constante, em torno do seu eixo longitudinal, no espaço de um campo magnético uniforme. A função que define a tensão elétrica induzida entre seus terminais possui a forma de uma senóide.

3.1.1.3 Gerador trifásico

É o equipamento elétrico constituído por três geradores monofásicos iguais, defasados fisicamente 120º no espaço e conectados entre si. Num sistema com amplitude de tensão senoidal igual a 127 V, as tensões por fase variam no tempo conforme a variação angular.

3.1.1.4 Corrente elétrica

É o fluxo de elétrons entre dois pontos onde há uma diferença de potencial. Por convenção, define-se que o sentido da corrente elétrica seja do pólo positivo para o pólo negativo no condutor que forma o circuito elétrico externo à fonte de tensão elétrica. Já internamente, a corrente elétrica tem o sentido do pólo negativo para o pólo positivo. Logo, verifica-se que para existir corrente elétrica é necessário haver a diferença de potencial e um condutor fechando um caminho para a corrente elétrica. A unidade de medida da intensidade do fluxo de elétrons (da corrente elétrica) é o *Ampère* (A) e o instrumento para medir a grandeza elétrica é o amperímetro. Caso a fonte de tensão usada seja contínua, a corrente elétrica no circuito será contínua (CC ou DC – do Inglês *direct current*). Por outro lado, se for alternada, a corrente elétrica será alternada (CA ou AC – do Inglês *alternating current*).

3.1.1.5 Resistência elétrica

É a oposição à passagem do fluxo de elétrons sobre um condutor submetido à certa diferença de potencial. Sua unidade é o *Ohm* (Ω) e o instrumento para medir a resistência elétrica é o ôhmímetro.

3.1.1.6 Reatância elétrica

É a oposição à passagem de corrente elétrica alternada. Se a corrente elétrica atravessar um capacitor, a reatância será capacitiva (X_C) e se atravessar um indutor (bobina ou enrolamento) será indutiva (X_L). Devido às características construtivas destes componentes, a corrente elétrica estará adiantada ou atrasada de 90º em relação à tensão, passando a ser chamada de corrente reativa. Quando a corrente elétrica está em fase com a tensão elétrica, é chamada de corrente ativa. As fases angulares desses sistemas são apresentados nas Figuras 3.1 a 3.3.

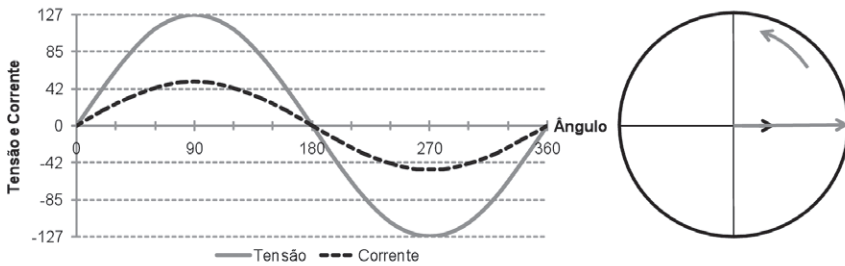



Figura 3.1 Fase angular de um sistema resistivo

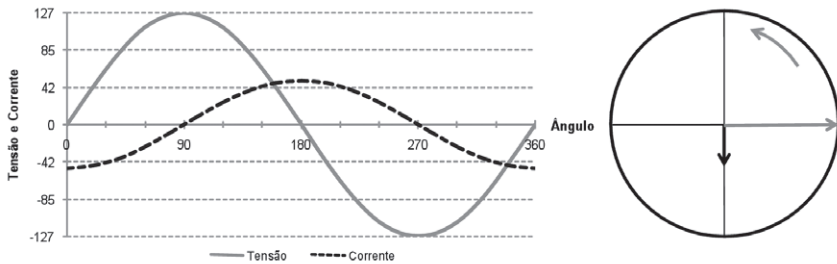



Figura 3.2 Defasagem angular de um sistema indutivo

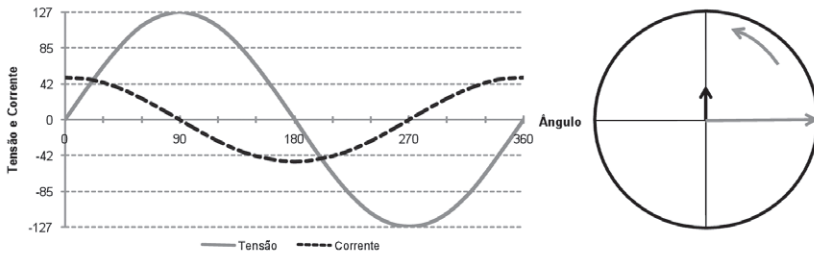



Figura 3.3 Defasagem angular de um sistema capacitivo

3.1.1.7 Impedância elétrica

Normalmente representado por Z, é a soma vetorial da resistência (R), da reatância capacitiva (X_C) e da reatância indutiva (X_L) de circuitos elétricos de corrente alternada, conforme mostrado graficamente a Figura 3.4.

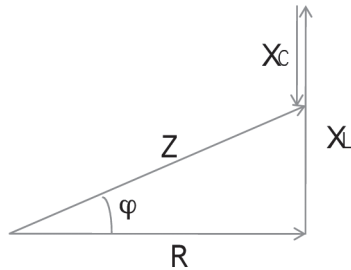



Figura 3.4 Componentes da impedância

3.1.1.8 Fator de potência

Considerando que os circuitos elétricos onde passa corrente alternada é a combinação de componentes resistivos, reativos indutivos e reativos capacitivos, pode-se dizer que a defasagem angular (φ) entre a corrente elétrica e a tensão estará entre 0 e 180º. Assim, define-se o fator de potência a função $\cos(\varphi)$ (Figura 3.5), sendo um número entre o intervalo [-1,1], de tal forma que se for negativo corresponderá a um sistema capacitivo, e se for positivo será um sistema indutivo por convenção. Verifica-se ainda, que um sistema elétrico trifásico equilibrado, apresenta a mesma relação $\cos(\varphi)$ entre as potências aparente e ativa, justificando o nome fator de potência.

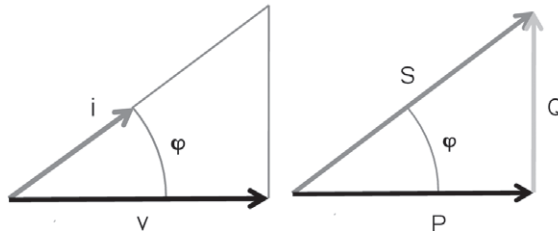



Figura 3.5 Relações do ângulo φ com o fator de potência

3.1.1.9 Potência ativa

Representada pela letra P, é a parcela da potência total capaz de realizar trabalho útil. Sua unidade de medida é o W*att* (W) e o equipamento de medição da grandeza elétrica é o wattímetro. Num sistema monofásico puramente resistivo é calculada através do produto da corrente pela tensão. Dependendo do tipo de sistema elétrico pode ser calculada de formas diferentes.

Sistema monofásico puramente resistivo

$P = U \cdot I$ Equação 3.1

Em que,

P = potência ativa em sistema monofásico puramente resistivo(W)

U = tensão (V)

I = corrente elétrica (A)

Sistema monofásico reativo

$P_{1\phi} = U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$ Equação 3.2

Em que,

P1j = potência ativa em sistema monofásico reativo (W)

Sistema trifásico reativo equilibrado

$P_{3\phi} = U \cdot I \cdot \cos(\varphi) \cdot \sqrt{3}$ Equação 3.3

Em que,

P3j = potência ativa em sistema trifásico reativo equilibrado (W)

3.1.1.10 Potência reativa

Representada pela letra Q, é a parcela da potência total que é armazenada na forma de campo eletromagnético nos componentes elétricos como indutores e capacitores. Não produz trabalho útil, mas é essencial para o funcionamento de componentes elétricos reativos. Sua unidade de medida é o *volt-ampère* reativo (VAr).

3.1.1.11 Potência aparente

Representada pela letra S, é a potência total solicitada por um sistema elétrico reativo. Do triângulo de potências são deduzidas as seguintes equações:

Sistema monofásico puramente resistivo

$S = U \cdot I$ Equação 3.4

Em que,

S = potência aparente em sistema monofásico puramente resistivo(W)

Sistema monofásico reativo

$S_{1\phi} = S \cdot \cos(\varphi)$ Equação 3.5

Em que,

S1j = potência aparente em sistema monofásico reativo (W)

Sistema trifásico reativo equilibrado

$Q_{1\phi} = S \cdot sen(\varphi)$ Equação 3.6

Em que,

Q1j = potência aparente em sistema trifásico reativo equilibrado (W)

3.1.1.12 Energia elétrica

Se o produto da potência e o tempo é o trabalho, a energia elétrica é o trabalho elétrico efetuado. Sua unidade de medida é o *watt*.hora (W.h). Considerando que a solicitação de potência elétrica de determinada carga pode variar com o tempo, a energia elétrica total consumida por esta carga será a área sobre a curva de potência no tempo. A Figura 3.6 apresenta a curva de carga de um consumidor, com a variação de potência consumida ao longo de 24 horas e o respectivo valor de energia acumulada.

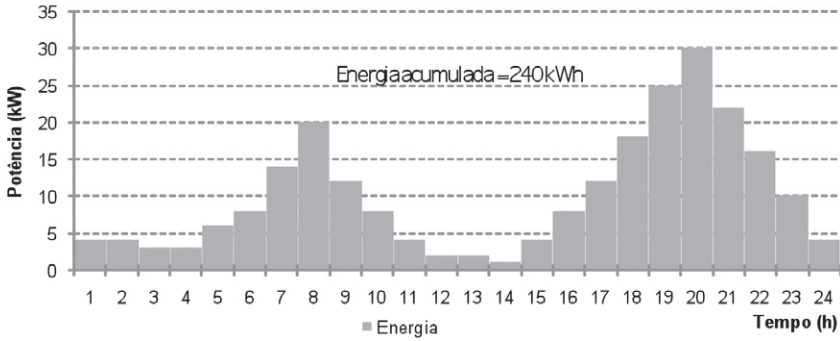



Figura 3.6 Curva de carga diária de um consumidor

3.1.1.13 Fator de carga

Nota-se que a potência solicitada pela carga acima não é constante no tempo, há um valor máximo e um valor médio. Para a solicitação de potência pela carga usa-se o termo demanda. Assim, pela relação entre a demanda média e a demanda máxima calcula-se o fator de carga, conforme a Equação 3.7. Este índice, considerado um fator de forma da curva de carga, demonstra como a potência é solicitada ao longo do tempo. Quanto mais próximo da unidade, mais constante tende a ser a forma de usar a energia.

$$fc = \frac{Dem_{méd}}{Dem_{máx}} \qquad \text{Equação 3.7}$$

Em que,

fc = Fator de carga

$Dem_{méd}$ = Demanda média da curva de carga (kW)

$Dem_{máx}$ = Demanda máxima da curva de carga (kW)

Aplicando a equação para curva de carga da Figura 3.9, para o período diário, tem-se:

$$fc = \frac{Dem_{méd}}{Dem_{máx}} = \frac{10\,kW}{30\,kW} = 0{,}33$$

Outra forma de calcular o fator de carga é através do conhecimento da energia total consumida e do tempo do período de medição, pois são informações disponíveis na fatura mensal.

$$fc = \frac{Energia_{total}}{Horas_{totais} \cdot Dem_{máx}} \qquad \text{Equação 3.8}$$

O conceito aplicado a um sistema de bombeamento que funciona em regime do tipo liga-desliga pode ser exemplificado na Figura 3.7, onde a potência do motor é igual a 15 kW e o tempo total observado é de 24 horas. Neste caso o fator de carga será igual a 0,5 e a energia total consumida será igual a 180 kWh.

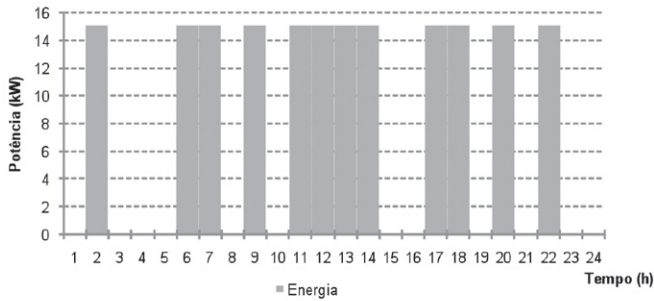



Figura 3.7 Curva de carga de operação de uma bomba

3.2 Grandezas e Unidades

A definição de algumas grandezas ligadas à energia elétrica, suas unidades e a relação com outras unidades também é importante de saber para não confundir conceitos e aplicá-los adequadamente nos cálculos que fazem parte dos projetos de sistemas de bombeamento. A Tabela 3.1 apresenta um resumo das grandezas mais importantes.

Tabela 3.1 > Resumo da definição de grandezas ligadas à energia elétrica

GRANDEZA	SÍMBOLO	UNIDADES	NOME DA UNIDADE
Corrente	I	A	Ampère
Tensão	U ou E	V	Volt
Energia	W	J, N.m, W.h	Joule, Newton.metro, Watt.hora
Resistência	R	Ω	Ohm
Reatância indutiva	X_L	Ω	Ohm
Reatância capacitiva	X_C	Ω	Ohm
Impedância	Z	Ω	Ohm
Fator de potência	f.p. ou cos(ϕ)	pu, %	Por unidade, percentual
Potência ativa	P	W, J/s	Watt, Joule/segundo
Potência reativa	Q	VAr	Volt-ampère reativo
Potência aparente	S	VA	Volt-ampère
Fator de carga	Fc	pu, ou %	Por unidade, percentual

As unidades práticas de potência e energia mais comumente usadas na área de energia elétrica são relações das unidades básicas. Assim, a Tabela 3.2 resume algumas formas de conversão que podem ser úteis quando se faz um levantamento de dados de placas de equipamentos elétricos, por exemplo.

Tabela 3.2 > Conversão de unidades de potência e energia

DE	MULTIPLICAR POR	PARA
J	3.600	W.h
Cv	735	W
HP	745	W

Exemplo. Considere dois tipos de lâmpadas com potência ativa igual a 40 W, uma incandescente comum e outra fluorescente tubular (com reator eletromagnético). Comparar as duas pode parecer simples, mas é importante ter alguns cuidados para tirar a conclusão certa. Na Tabela 3.3 é apresentada uma comparação das principais características dessas lâmpadas.

Tabela 3.3 > Comparação dentre lâmpada incandescente e fluorescente

CARACTERÍSTICAS	LÂMPADA INCANDESCENTE	LÂMPADA FLUORESCENTE
Fluxo luminoso	516 lm (lúmen)	2.500 lm (lúmen)
Tensão alternada	127 V	127 V
Tipo de carga	Resistiva	Reativa indutiva
Fator de potência	1	0,8
Equação da potência	P = U.I	P = U.I.cos(ϕ)
Corrente	0,315 A	0,395 A
Potencia ativa	40 W	40 W
Potencia reativa	- VAr	30 VAr
Potência aparente	40 VA	50 VA
Eficiência luminosa	12,9 lm/W	62,5 lm/W

Olhando apenas o consumo de energia, nota-se que a lâmpada fluorescente, devido à presença de reatância indutiva do reator, há consumo de energia reativa, de forma que a potência total solicitada seja maior. No entanto, o trabalho produzido pelas lâmpadas é a iluminação produzida durante o tempo de uso, e a fluorescente tem maior fluxo luminoso, ou seja, produz aproximadamente quatro vezes mais luz para a mesma potência. Conclui-se que, se for aplicado o conceito da eficiência energética, para a mesma quantidade de luz desejada é possível se consumir menos energia. Neste caso,

uma lâmpada fluorescente compacta de 9 W produziria praticamente o mesmo fluxo luminoso da lâmpada incandescente.

Medidas de eficiência energética também devem ser incentivadas em sistemas de bombeamento de água e podem envolver mudanças de duas vertentes, a tecnológica e a comportamental, esta no caso de depender de operação manual.

3.3 Cálculo do custo da energia elétrica

A prestação do serviço de distribuição de energia elétrica requer a aplicação de uma tarifa para remunerar os investimentos em equipamentos elétricos feitos pela concessionária. Assim, todo consumidor recebe mensalmente uma fatura da concessionária para pagar pela energia elétrica usada. Na forma mais simples, o consumidor residencial paga pelo consumo de uma quantidade de energia elétrica mensal registrada (kWh), o produto desta quantidade pela tarifa de energia (R$.kWh) resultando em uma quantia de dinheiro (R$).

A fatura de energia elétrica é calculada desta maneira para todos os consumidores ligados à rede de baixa tensão (Grupo B – baixa tensão), que em geral tem 127 V entre fase e neutro. Sabe-se, porém, que a tarifa de energia elétrica não é a mesma para consumidores com tamanhos diferentes. Isso se deve ao fato de que os grandes consumidores estão conectados à rede de distribuição em níveis de tensão mais elevados (Grupo A – alta tensão). Dado que esses níveis de tensão já estão consolidados na rede de transmissão e distribuição de energia elétrica, uma estrutura tarifária foi criada sobre eles, conforme apresentado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 > Subgrupos da estrutura tarifária

SUBGRUPO	TENSÃO DE FORNECIMENTO
A1	$U \geq 230$ kV
A2	$88 \text{ kV} \leq U \leq 138$ kV
A3	$U = 69$ kV
A3a	$30 \text{ kV} \leq U \leq 44$ kV
A4	$2{,}3 \text{ kV} \leq U \leq 25$ kV
AS	$\leq 2{,}3$ kV, atendidas a partir de sistema subterrâneo

Desta forma, vale informar que a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL é o agente do setor elétrico responsável por fiscalizar e regular o serviço de distribuição de energia elétrica, além de mediar conflitos entre consumidores e as distribuidoras. No papel de reguladora, a agência define as tarifas aplicáveis aos consumidores através de reajustes e revisões tarifárias. Anualmente são publicadas pela ANEEL resoluções

onde as tarifas de energia e demanda estão definidas em quadros de acordo com os subgrupos, diminuindo levemente à medida que a tensão de fornecimento abaixa. Algumas definições na área tarifária também são interessantes para facilitar a identificação do tipo do consumidor e da tarifa a ele aplicável.

Tarifação monômia: é a forma de aplicar tarifa sobre consumidores de baixa tensão, onde há apenas uma tarifa para a energia elétrica consumida, definida em R$.kWh.

Tarifação binômia: é a forma de aplicar tarifa sobre consumidores de alta tensão, onde há tarifa para a energia elétrica consumida (R$.kWh) e tarifa para a demanda solicitada da rede (R$.kW).

Estrutura tarifária: conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativas de acordo com a modalidade de fornecimento.

Estrutura tarifária convencional: estrutura caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano.

Estrutura tarifária horo-sazonal: estrutura caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, conforme seguinte especificação:

- Tarifa Azul: é a forma de aplicar tarifa sobre consumidores de alta tensão, onde aplicam-se mensalmente duas tarifas para energia elétrica (R$.kWh ponta, R$.kWh fora ponta) e duas para a demanda (R$.kW ponta e R$.kW fora de ponta) para cada período do ano (seco e úmido).
- Tarifa Verde: é a forma de aplicar tarifa sobre consumidores de alta tensão, onde aplicam-se mensalmente duas tarifas para energia elétrica (R$.kWh ponta, R$.kWh fora ponta) e uma única tarifa para a demanda (R$.kW).
- Horário de ponta (P): período definido pela concessionária e composto por 3 (três) horas diárias consecutivas, exceção feita aos sábados, domingos e feriados nacionais, considerando as características do seu sistema elétrico.
- Horário fora de ponta (F): período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta.
- Período úmido (U): período de 5 (cinco) meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de dezembro de um ano a abril do ano seguinte.
- Período seco (S): período de 7 (sete) meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de maio a novembro.

Exemplo. Considere uma residência de classe média que registra um consumo mensal médio de 372 kWh. Se a tarifa de energia com os impostos incluídos é igual a 0,297 R$.kWh, a fatura total será igual a R$110,48. Se nesta casa moram seis pessoas que tomam banho de 10 minutos cada por dia, quanto custa o uso do chuveiro elétrico nesta residência?

Para responder a essa questão, os cálculos estão resumidos na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 > Exemplo de cálculo do custo da energia

CLASSE DO CONSUMIDOR	RESIDENCIAL
Modalidade tarifária	Convencional
Tensão de fornecimento	220 V, bifásico
Tarifa de energia	0,297 R$/kWh
Consumo mensal	372 kWh
Custo mensal	R$ 110,48
Tempo de banho	6 pessoas . 10 min . 30 dias = 30 h
Potencia do chuveiro	5.400 W = 5,4 kW
Energia do banho	5,4 kW . 30 h = 162 kWh
Custo do banho	162 kWh . 0,297 R$/kWh = R$ 48,10
Custo relativo	48,10 / 110,48 = 43,5%

Nota-se que o chuveiro elétrico é responsável por parcela significativa da fatura de energia elétrica residencial. Também vale mencionar que a modalidade tarifária do consumidor residencial não estimula nenhuma mudança no seu comportamento, mantendo o uso do chuveiro elétrico no período mais crítico do sistema elétrico, o horário de ponta. Consequentemente, o sistema de abastecimento de água também deve bombear grande volume de água neste horário, o que também requer consumo de energia elétrica.

Uma forma de incentivar a mudança do comportamento do consumidor, reduzindo o uso da eletricidade no horário de ponta, foi a criação da estrutura tarifária horo-sazonal, que aplicando tarifas mais caras no horário de ponta, transferiam carga do horário de ponta para o fora de ponta.

Exemplo. Considere uma estação de captação de água bruta que recalca em média 741 m^3.h para tratamento. O sistema de bombeamento principal é composto por três conjuntos motor-bomba com as características apresentadas na Tabela 3.6. Qual é o custo com energia relativo à operação de bombeamento, considerando que a bomba reserva pode operar em conjunto com uma das outras qualquer hora do dia?

3.4 Consumo de energia em sistemas públicos

3.4.1 Consumo de energia atrelado à água

Os consumos de água e energia devem ser visualizados como dados interligados e não de forma separada. A energia é necessária para mover a água através dos sistemas de água municipais, tornando a água potável. Cada litro de água que se move pelo sistema representa um significante custo de energia. As perdas de água na forma de vazamentos, furtos, desperdícios do consumidor e distribuição ineficiente afetam diretamente a quantidade de energia necessária para fazer a água chegar ao consumidor. O desperdício de água leva ao desperdício de energia. Assim, as atividades implementadas para economizar água e energia podem ter um impacto maior se planejadas conjuntamente.

Tabela 3.6 > Exemplo de custo da energia em sistema de bombeamento de água

CLASSE DO CONSUMIDOR	SERVIÇO PÚBLICO
Unidade consumidora	Estação de captação de água bruta
Modalidade tarifária	Horo-sazonal Azul
Tensão de fornecimento	13,8 kV (Subgrupo A4)
Conjuntos moto-bomba 1 x IMBIL (INI-150-400) - reserva 1 x KSB (150-400) – em operação 1 x KSB (150/40) – em operação	396 m3/h, 80 m, 175 cv, 1785 rpm 396 m3/h, 80 m, 150 cv, 1770 rpm 345 m3/h, 77 m, 150 cv, 1770 rpm
Potência das bombas em operação	300 cv = 220 kW ou 325 cv = 239 kW
Tarifa de energia ponta	245,48 R$/MWh
Tarifa de energia fora ponta	151,57 R$/MWh
Tarifa de demanda ponta	24,88 R$/kW
Tarifa de demanda fora ponta	6,06 R$/kW
Consumo mensal ponta	15,44 MWh
Consumo mensal fora ponta	131,80MWh
Demanda ponta	239 kW
Demanda fora ponta	239 kW
Demanda média ponta	15,44*1000/(30.3) = 171,5 kW
Demanda média fora ponta	131,80*1000/(30.21) = 209,2 kW
Fator de carga ponta	fc = 171,5 / 239 = 72%
Fator de carga fora ponta	fc = 209,2 / 239 = 88%
Custo mensal	R$ 31.161,80
Custo médio	211,64 R$/MWh

Entre 2% a 3% do consumo de energia do mundo são usados no bombeamento e tratamento de água para residências urbanas e indústrias. A eliminação de vazamentos e furtos de água em muitas grandes cidades, mais que duplicaria a quantidade de água disponível e reduziria muito o uso de energia, visto que os países em desenvolvimento têm perdas de água no sistema entre 30% e 60%, nos países desenvolvidos as perdas variam de 15% a 25%. A redução das perdas irá melhorar a eficiência do sistema como um todo.

Em sistemas de abastecimento de água o consumo de energia elétrica é de cerca de 0,6kWh.m³ de água produzida. A redução no índice de perdas e o uso racional da água terão influência significativa no custo da energia elétrica, visto que a diminuição do volume de água recalcada leva a uma diminuição no consumo de energia elétrica.

3.4.2 O Bombeamento em Sistemas Públicos

Na Figura 3.8 está representado esquematicamente um sistema de abastecimento de água com seus principais componentes. Conforme já descrito anteriormente, o sistema é normalmente composto por: Estação elevatória de água bruta (EEAB); adutora de água bruta (AAB); estação de tratamento de água (ETA); estação elevatória de água tratada (EEAT); reservatórios (R1, R2 e R3); *booster* (B); adutora de água tratada (AAT); zonas de distribuição de água tratada (ZA e ZB).

O consumo de energia elétrica está presente em todos os componentes desse sistema, seja para iluminação das instalações, serviços de escritório, equipamentos de monitoramento e controle, acionamento de motores elétricos, dentre outros. Entretanto, os componentes responsáveis pela maior parcela do consumo de energia (podendo atingir até 95% do consumo total do sistema) são as estações de bombeamento de água bruta e tratada. Na Figura 3.8 se observa que as estações de bombeamento normalmente se encontram distribuídas pelo sistema. As de maior porte são a elevatória de água bruta (EEAB) e a elevatória de água tratada, devido ao maior volume bombeado. Em seguida estão os *booster*, que também podem ter um

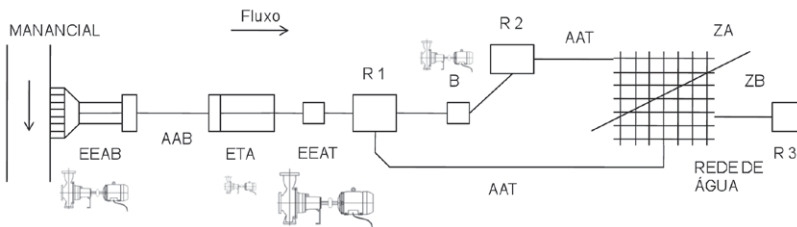



Figura 3.8 Configuração típica de um sistema público de abastecimento de água

porte significativo, e as pequenas bombas de aplicações diversas, como na dosagem do tratamento químico.

Em sistemas onde existe o tratamento de esgoto sanitário, deve-se considerar ainda os componentes dessa etapa, conforme ilustrado na Figura 3.9. Nesse caso, o veículo de transporte dos sólidos é a água e os sistemas de bombeamento são construídos para levar o material orgânico e inorgânico desde a rede coletora até a estação de tratamento.

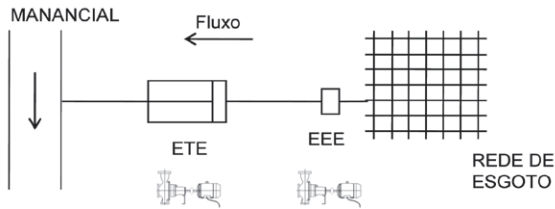



Figura 3.9 Configuração de um sistema de esgotamento sanitário

Em um sistema de tratamento de esgotos típico, como mostrado na Figura 3.9, são encontrados os seguintes componentes principais: Estação elevatória de esgoto (EEE); Estação de tratamento de esgoto (ETE). Há que se considerar a existência de equipamentos eletro-mecânicos nas ETEs, sobretudo quando se trata de sistemas aeróbios de tratamento para populações de médio e de grande porte, onde o uso de aeradores mecanizados é comum. Em alguns casos, equipamentos eletro-mecânicos também são utilizados na digestão (agitadores) e no desaguamento de lodos.

3.4.3 Consumo de energia pelos sistemas de bombeamento

Conforme já mencionado, em termos de gastos com energia elétrica no abastecimento de água, estima-se que o bombeamento de água seja responsável por cerca de 90% a 95% do total. Desse percentual, praticamente a totalidade da energia é consumida pelo conjunto motor-bomba. Entretanto, deve-se ressaltar que o consumo de energia pelos sistemas de bombeamento dependerá fortemente dos fatores físicos do local em que está inserido, tais como a extensão da rede e a topografia da área de abrangência. Essas características determinarão as distâncias percorridas pelas adutoras e a altura de recalque necessária. Assim, sistemas implantados em regiões mais planas tendem a ter conjuntos motores-bombas de potências menores que regiões mais íngremes, para a mesma vazão. A aproximação da estação de tratamento de água da captação transfere responsabilidade do recalque da elevatória de água bruta para a elevatória de água tratada, no entanto, como os reservatórios costumam estar sempre próximos da rede, todo o desnível e distância tem que ser vencidos pelo conjunto.

A ilustração da Figura 3.10 mostra as potências e rendimentos normalmente considerados na análise do conjunto motor-bomba. Considerando-se o fluxo de energia da rede de distribuição para o conjunto, tem-se a potência elétrica disponibilizada na entrada do motor (P_{el}). Essa potência é convertida em potência mecânica no eixo do motor (P_{em}) que, através do acoplamento, transfere a potência para o eixo da bomba (P_{eb}), que finalmente fornece a potência hidráulica (P_h) necessária para transformar a energia potencial em energia cinética para movimentação da água.

Considerando os rendimentos envolvidos em cada etapa do processo de transformação de energia, conforme observado na Figura 3.10, obtém-se a seguinte equação para o cálculo da energia elétrica necessária ao bombeamento,

$$P_{el} = \frac{\gamma \; Q \; H_m}{\eta_M \cdot \eta_B \cdot \eta_A} \qquad \text{Equação 3.9}$$

Em que,

P_{el}: potência elétrica absorvida pelo conjunto motor-bomba, em W

γ: peso específico da água, em N/m^3 ($\gamma \approx 98100$ N/m^3)

Q: vazão de recalque, em m^3/s

H_m: altura manométrica, em m

η_M: rendimento do motor

η_B: rendimento da bomba

η_A: rendimento do acoplamento

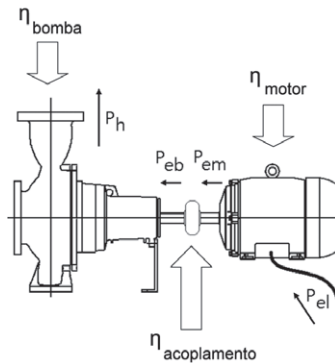



Figura 3.10 Potências e rendimentos do conjunto motor-bomba

Para se calcular quanto se gasta com energia elétrica em sistemas prediais, verifica-se inicialmente que a potência hidráulica solicitada para transporte da água é uma função da altura manométrica de recalque e da vazão de água conforme a equação abaixo.

$$P_{el} = \frac{Q\ H_m}{40} \qquad \text{Equação 3.10}$$

Em que,

P_H: potência hidráulica, em cv

γ:peso específico da água, em kgf/m3 ($\gamma \approx 1000$ kgf/m^3)

Q: vazão de recalque, em m^3/s

H_m: altura manométrica, em m

Na prática uma boa aproximação para calcular a potência elétrica necessária ao motor pode ser obtida por

$$P_{el} = \frac{Q\ H_m}{40} \qquad \text{Equação 3.11}$$

Em que,

Q: vazão de recalque, em l/s

H_m: altura manométrica, em m

Na Figura 3.11 é apresentado um diagrama Sankey do conjunto motor-bomba, que mostra os valores típicos de perdas de energia que ocorrem em cada componente. Nota-se que as maiores perdas ocorrem na bomba, com perdas que alcançam perto de 40%. Nesse ponto, é importante destacar que o rendimento da bomba em muitos casos é mais elevado, mas que só pode ser alcançado por meio de uma correta especificação da bomba e de procedimentos adequados operação.

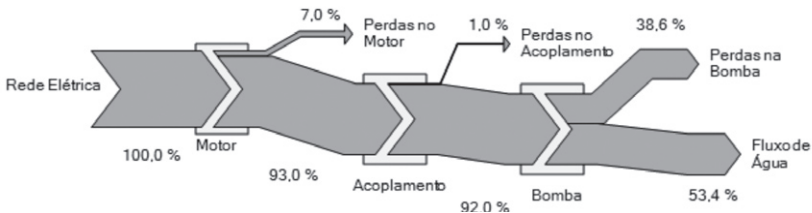



Figura 3.11 Diagrama de Sankey para o conjunto motor-bomba

Na consideração do rendimento, destaca-se que há uma relação com a dimensão da bomba. De maneira geral o rendimento pode ultrapassar 85% nas grandes bombas centrífugas e pode ser menor do que 40% nas pequenas bombas, dependendo do tipo e das condições de operação. Como valores razoáveis para estimativas pode-se admitir com 60% para bombas pequenas e de 75% para bombas médias e grandes (MACINTYRE, 1997).

3.4.4 Curvas características da bomba e do sistema de tubulações

O ponto de trabalho de um sistema de bombeamento é definido por suas curvas características, que são curvas matemáticas que descrevem a relação entre as variáveis altura manométrica e vazão bombeada. Na Figura 3.15 é apresentado um exemplo dessas curvas, onde a curva da bomba descreve a altura manométrica fornecida pela bomba para diferentes valores de vazão, mantendo-se a rotação da bomba constante. A curva do sistema representa a altura manométrica solicitada pelo sistema de tubulação para que a água seja conduzida do ponto de sucção ao final da linha de recalque, que pode ser um reservatório.

Sobre a curva o sistema, destaca-se que a altura manométrica é composta pela soma de duas componentes, ou seja, altura estática e altura dinâmica. A altura estática refere-se à diferença de cota entre o ponto de sucção e de recalque, sendo, portanto, uma altura geométrica. No caso da altura dinâmica, essa é composta pelo somatório das perdas de carga dos sistemas de tubulações e acessórios, tendo uma variação com o quadrado da vazão bombeada.

Uma vez conhecidas as curvas características do sistema e da bomba, ajustando-se ambas em um mesmo gráfico "altura *versus* vazão" (Figura 3.12), o ponto de intersecção entre as duas curvas indica as condições de pressão e vazão com as quais a bomba

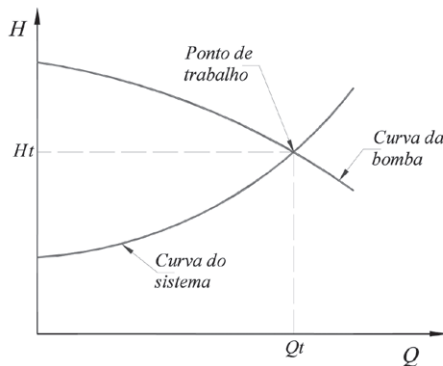



Figura 3.12 Determinação do ponto de trabalho de bombas hidráulicas

irá operar. Esses valores (H_t e Q_t), caracterizam o *ponto de trabalho da bomba*, que é a condição de equilíbrio natural do conjunto sistema-bomba. Dessa forma, se uma mesma bomba for instalada em sistemas diferentes de tubulações, o ponto de trabalho da bomba não será o mesmo. Outra característica importante é que torna-se possível modificar o ponto de trabalho da bomba (vazão e pressão fornecidas) por meio de modificações em uma ou ambas as curvas, conforme é descrito nos itens seguintes.

3.4.5 Controle com da bomba por válvula de estrangulamento

Válvulas de estrangulamento são equipamentos instalados na linha de recalque do sistema de tubulação, com objetivo de controlar a vazão fornecida pela bomba. Esse controle é realizado através da introdução de perdas de carga que, por consequência, alteram a curva característica do sistema e o ponto de trabalho da bomba.

Em exemplo é apresentado na Figura 3.13, onde está representada a curva característica de uma bomba centrífuga operando em um determinado sistema de tubulações, à rotação constante. A vazão Q_P corresponde à válvula toda aberta, sendo a máxima com que o sistema pode funcionar, uma vez que para descargas maiores a energia fornecida pela bomba é insuficiente para vencer a altura estática e as resistências da tubulação e seus acessórios.

Se a válvula de estrangulamento for parcialmente fechada a curva do sistema assume uma nova posição, interceptando a curva da bomba no ponto M, por exemplo. Nota-se que o estrangulamento na válvula reduz a vazão (Q_M é menor que Q_P). Entretanto, o aumento nas perdas significa uma altura manométrica maior a ser vencida pela bomba (H_M é maior que H_P), que pode ainda ser somado ao fato de que, muitas vezes,

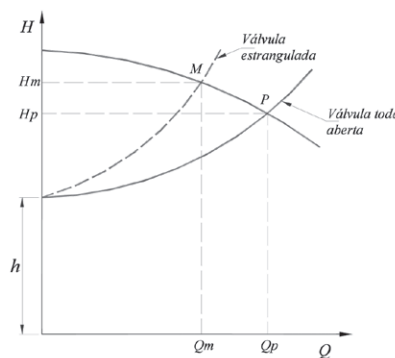



Figura 3.13 Efeito do estrangulamento da válvula sobre o ponto de operação de uma bomba centrífuga

a bomba também ira trabalhar em ponto onde o seu rendimento é menor. E tudo isso pode implicar no maior gasto de energia elétrica pelo conjunto.

3.4.6 Leis de afinidade para bombas centrífugas

A bomba centrífuga é projetada para atender a um valor pré-fixado do número de rotações, que faz com que a mesma forneça uma determinada vazão e altura manométrica de elevação, proporcionando, nessa condição, um rendimento máximo. Entretanto, segundo Macintyre (1997), para variações relativamente pequenas do número de rotações, o rendimento da bomba varia pouco e pode-se escrever portanto que, uma bomba trabalhando em uma rotação n_1, quando alterada para o valor n_2 irá fornecer uma altura manométrica que varia segundo a relação:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \qquad \text{Equação 3.12}$$

Em relação à vazão, obtém-se a seguinte relação:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \qquad \text{Equação 3.13}$$

uma vez que a potência consumida é expressa por

$$P_H = \frac{\gamma . Q . H}{\eta} \qquad \text{Equação 3.14}$$

Admitindo o rendimento (*n*) constante, a relação entre a potências para duas condições de funcionamento será

$$\frac{P_{H1}}{P_{H2}} = \frac{Q_1 . H_1}{Q_2 . H_2} \qquad \text{Equação 3.15}$$

ou então

$$\frac{P_{H1}}{P_{H2}} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \qquad \text{Equação 3.16}$$

Portanto a potência absorvida do motor que aciona a bomba varia com o cubo do número de rotações. Embora nestas relações admita-se que o rendimento não varia com as mudanças de rotação, ensaios revelam que somente para determinados valores de pressão e rotação se consegue reduzir suficientemente as perdas de energia por atrito, por irregularidades no escoamento e por fugas, obtendo-se o rendimento máximo (MACINTYRE, 1997). Assim, modificando-se o número de rotações para um

valor diferente da condição de projeto, o rendimento diminuirá, assumindo um valor para o novo estado de funcionamento, de forma que, na realidade a potência varia segundo a relação:

$$\frac{P_{H1}}{P_{H2}} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \cdot \frac{\eta_2}{\eta_1} \qquad \text{Equação 3.17}$$

As indicações dadas acima permitem que se possa traçar, com certa aproximação, as curvas de vazão, altura manométrica, potência e rendimento, em função do número de rotações, conhecido um ponto e cada uma dessas curvas, para se ter uma primeira idéia sobre o funcionamento da bomba. Ainda de acordo com Macintyre (1997), no caso de ser grande a variação necessária na rotação, pode-se calcular o rendimento para o novo ponto de operação a partir da fórmula empírica:

$$\eta_2 = 1 - (1 - \eta_1) \cdot \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{0,1} \qquad \text{Equação 3.18}$$

3.4.7 Controle da bomba por variação da rotação.

A Figura 3.14 ilustra a alteração do ponto de trabalho de uma bomba centrífuga através da modificação da rotação. De forma análoga à Figura 3.13, o ponto "*P*" da Figura 3.14 representa a condição normal de trabalho com rotação n_P, vazão Q_P, altura manométrica H_P e o rendimento da bomba é máximo. Se por uma solicitação do processo a vazão deve ser reduzida para um valor Q_M, menor que Q_P, reduz-se o valor da rotação da bomba para n_M, através de um acionamento apropriado. Isto faz com que a curva característica da bomba intercepte a curva do sistema no ponto M e seja esta a nova condição de trabalho, cuja altura manométrica correspondente (H_M) é menor que H_P. Nota-se que a curva do sistema permanece inalterada, visto que não se alteraram as condições do sistema de tubulações.

Conforme descrito anteriormente, as leis de afinidade para as bombas centrífugas são válidas para pequenas mudanças de rotação. Isso porque o rendimento da bomba varia com a mudança de rotação, conforme o gráfico denominado campo básico de operação, ou diagrama colina. Um exemplo desse gráfico é apresentado na Figura 3.15, onde se visualizam as curvas características da bomba para diferentes rotações e as curvas de igual rendimento. Com o uso desse diagrama é possível determinar o rendimento da bomba em qualquer rotação em sua faixa operativa.

Johnson (1981), utilizando a Figura 3.15, que também apresenta as curvas de potência consumida pela bomba, ilustra numericamente o comportamento de uma bomba centrífuga controlada por válvula de estrangulamento. Neste caso, uma determinada

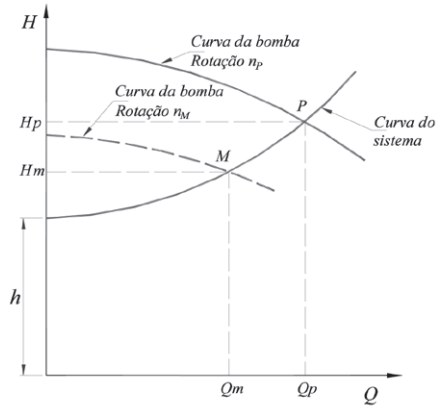



Figura 3.14 Efeito da variação na rotação

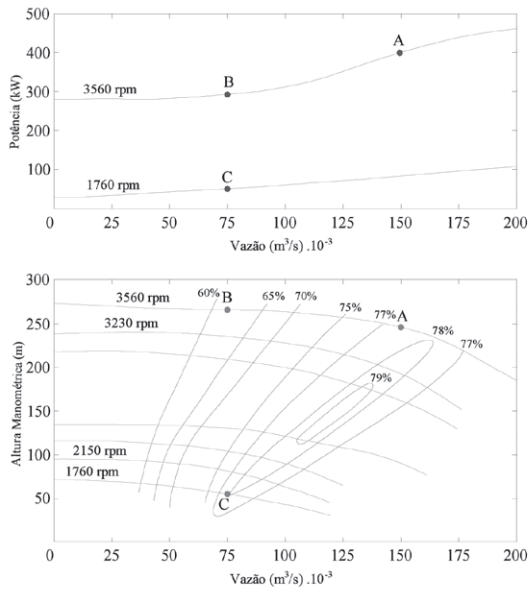



Figura 3.15 Curva de potência consumida e campo básico de operação, típicos de bombas centrífugas.

bomba, operando no ponto nominal de projeto, fornece uma vazão de 150.10^{-3} (m^3/s), na rotação de 3560 (rpm), com rendimento de 77,5% e consome uma potência de 410 kW (ponto A, Figura 3.15). Mantendo-se constante a rotação da bomba e reduzindo a vazão, através da válvula, para 75.10^{-3} (m^3/s), resulta em uma potência consumida de 298 kW e rendimento de 63% (ponto B, Figura 3.15). Ou seja, para uma redução de 50% na vazão fornecida, houve uma redução de apenas 28 porcento na potência consumida, devido ao aumento na altura total de elevação. Analisando novamente a Figura 3.15, se observa que reduzindo a vazão de 150.10^{-3} (m^3/s) para 75.10^{-3} (m^3/s), utilizando o controle da rotação, o novo ponto de trabalho será *C*. Nessa nova condição, a rotação foi reduzida de 3560 (rpm) para 1760 (rpm), o rendimento manteve-se em 77,5% e a potência consumida caiu de 410 (kW) para 52 (kW). Portanto, o uso da variação na rotação, em vez da válvula de estrangulamento, implicou em uma redução na potência consumida de 358 (kW), e neste caso sem perdas no rendimento.

3.4.8 Potencial de economia de energia

De acordo com o visto nos itens anteriores, o controle de vazão por válvula de estrangulamento implica em se operar com maiores alturas manométricas do que no controle por rotação. Ou seja, existe um potencial de redução do consumo de energia ao se substituir o método de controle do conjunto. Como exemplo, seja o sistema de bombeamento representado pela Figura 3.16, onde se supõe que a bomba é solicitada a trabalhar com uma demanda que varia desde a vazão zero até Q_P. De acordo com o visto nos itens anteriores, para atender uma determinada vazão intermediária Q_i, menor que Q_P pode-se utilizar o estrangulamento da válvula, que resulta como condição de trabalho o *Ponto 1*, com vazão Q_i e altura manométrica H_1. Outra alternativa consiste na redução da rotação da bomba, que resultará no Ponto 2 como nova condição de trabalho, com altura manométrica H_2, menor que H_1. A energia consumida pela bomba, quando opera no *Ponto 1*, é dada por:

$$E_1 = \frac{\gamma . Q_i . H_1 . \Delta t}{\eta_1}$$ Equação 3.19

Em que,

E1 – Energia consumida pela bomba no Ponto 1 (kWh)

Δt – Tempo de operação na vazão Q_i (h)

$\eta 1$ – Rendimento da bomba no ponto 1 (adimensional.

Para a condição de operação representada pelo *Ponto 2*, a energia consumida é:

$$E_2 = \frac{\gamma . Q_i . H_2 . \Delta t}{\eta_2}$$ Equação 3.20

Em que,

E2 – Energia consumida pela bomba no Ponto 2 (kWh)

η2 – Rendimento da bomba no ponto 2 (adimensional)

A energia economizada quando se opera a bomba pela variação da rotação, ao invés do controle por válvulas, é então, expressa por:

$$E_{econ} = \gamma . Q_i . \Delta t . \left(\frac{H_1}{\eta_1} - \frac{H_2}{\eta_2} \right) \quad \text{(kWh) Equação 3.21}$$

Caso se admita que as variações na vazão fornecida pela bomba não são grandes, a ponto de provocarem mudanças substanciais nos valores de rendimento, pode-se considerar que o mesmo se mantém constante, ou seja, a economia de energia é diretamente proporcional à diferença entre as alturas manométricas dos pontos de trabalho *1* e *2*, podendo ser expressa por:

$$E_{econ} = \frac{\gamma . Q_i . \Delta t}{\eta} . (H_1 - H_2) \quad \text{Equação 3.22}$$

Assim, considerando que, ao longo do tempo, este sistema trabalha em infinitas condições de demanda, dentro de seu campo de operação (vazão zero a Q_p), pode-se afirmar que a energia total economizada ao longo do tempo é proporcional à área (*A*) compreendida entre as curvas características da bomba e do sistema (Figura 3.17). Ou seja, quanto maior a diferença entre as curvas características da bomba e do sistema, maior será o potencial de conservação de energia da instalação. De maneira geral, as insta-

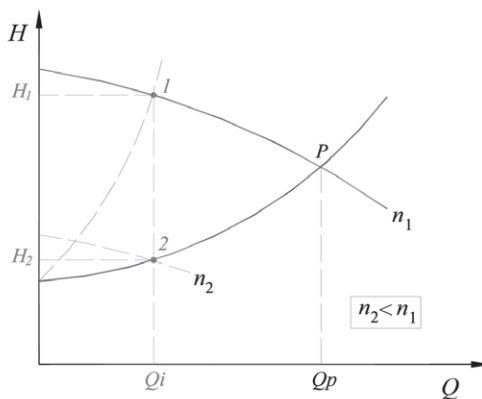



Figura 3.16 Diferença de alturas válvula *versus* rotação variável

lações onde essa diferença é maior são aquelas em que a altura manométrica possui uma maior parcela devido à altura dinâmica do sistema e a bomba opera com grandes variações de vazão. Tais sistemas são típicos de localidades com relevo plano, onde o desnível a ser superado é pequeno em relação às perdas de carga nas tubulações.

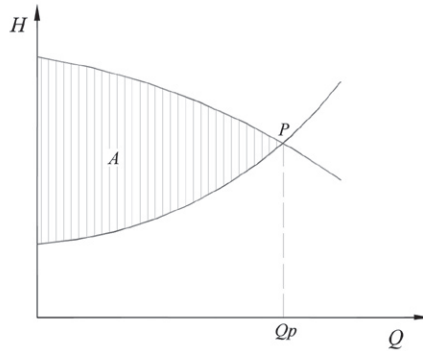



Figura 3.17 Potencial de economia de energia ao longo do tempo

3.5 Consumo de energia em sistemas prediais

Sistemas prediais podem se referir a edificações dos setores residencial, comercial ou público. Edificações com finalidade tipicamente de escritórios, como prédios comerciais e públicos, apresentam comportamento da carga elétrica similares. Já os edifícios residenciais, apresentam comportamento de carga diferente, onde o uso da água para banho é responsável por uma grande parcela do consumo total. Há uma nítida tendência do setor da construção civil, nos países industrializados principalmente, no desenvolvimento de edifícios que adotam medidas de consumo sustentáveis. São os denominados "edifícios verdes", que são objeto de certificação através de sistemas existentes em diversos países, dentre os quais cita-se o mais conhecido internacionalmente: LEED[1] (sigla em inglês para "Liderança em Energia e *Design* Ambiental"). Dentre as características destas edificações, destacam-se o uso racional da água e a conservação da energia. Soluções como estas exigem uma profunda revisão do uso da água nas residências, que vise à redução do consumo de água potável e conseqüentemente, da produção de águas residuárias e da energia gasta nos processos.

A eficiência energética em prédios residenciais está vinculada ainda aos padrões tecnológicos dos sistemas e equipamentos instalados, às suas características arquitetôni-

cas, ao clima local e ao grau de consciência dos usuários para o uso racional da energia (ELETROBRÁS, 2005). Conceitos de sustentabilidade vêm sendo aplicados ao segmento da construção de edifícios à medida que novos projetos arquitetônicos fazem o aproveitamento da ventilação e luz natural. Desta forma, considerada economia de energia pode ser obtida para oferecer o mesmo conforto ambiental alcançado anteriormente. Atualmente, critérios de etiquetagem ou selos verdes vêm sendo atribuídos a edifícios como mecanismo de incentivo à eficiência energética, sendo considerado um diferencial importante no segmento.

A gestão energética de edifícios pode ser agrupada em dois tipos de acordo com a forma de administração e a área de atuação sobre a energia:

- administração pública com gerenciamento em todas as áreas do edifício;
- administração particular com gerenciamento sobre a área do condomínio.

Na administração pública federal foi instituída a criação da Comissão Interna de Conservação de Energia – CICE pelo Decreto 99.656 de 26/10/90, com o objetivo de: propor, implementar e acompanhar medidas efetivas de utilização racional de energia elétrica, bem como controlar e divulgar as informações mais relevantes da gestão. Na administração particular observa-se a concorrência de administradores de condomínio residencial e de grandes empresas multinacionais de prestação de serviços de gestão de pessoal e utilidades em edifícios comerciais.

Desconsiderando as variações climáticas regionais, pode-se aproximar a distribuição de cargas elétricas em sistemas prediais conforme os números apresentados na Figura 3.18. O uso da energia é necessário para fazer a climatização térmica do ambiente, para suprir a iluminação artificial, para fazer o bombeamento de água e movimentação de elevadores e para alimentar diversos equipamentos elétricos de escritório.

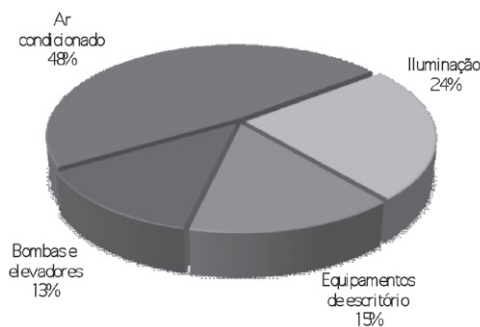



Figura 3.18 Uso final de energia elétrica em edifícios tipicamente de escritórios.

Embora o sistema de bombeamento represente uma parcela menor, medidas sobre a configuração, o funcionamento e a manutenção podem reduzir os custos com energia elétrica e com a própria água, eliminando perdas e desperdício. A caracterização do sistema hidráulico predial depende da fonte de abastecimento e do sistema de distribuição. O abastecimento da água pode ser feito a partir da rede pública ou por fonte particular de captação por poços ou nascentes.

As formas de distribuição da água consideram as garantias de regularidade e atendimento de pressão e vazão e podem ser assim classificadas:

- direta da rede pública até os pontos de uso (sem reservatório): considera-se como uma continuidade da rede pública, expondo o consumidor às deficiências da rede;
- indireto sem bombeamento (com reservatório): usa a pressão da rede para encher o reservatório superior, distribuindo por gravidade;
- indireto com bombeamento (com reservatório): quando não há pressão suficiente na rede ou é feita captação em poço. O abastecimento é realizado a partir de um reservatório inferior, de onde a água é bombeada para outro reservatório superior;
- indireto hidropneumático: cria-se um sistema de pressão para distribuir a água a partir do reservatório inferior (não há reservatório superior);
- misto: comum para residências onde parte do uso que ocorre no nível da rua é feito diretamente da rede e outra parte é feita indiretamente sem bombeamento.

No caso particular de edifícios elevados, algumas alternativas podem ser adotadas principalmente para reduzir a pressão, economizar energia e reduzir a altura do bombeamento. A Figura 3.19 apresenta três alternativas de soluções que podem ser adotadas para edificações. Em ambos os casos mostrados nessa figura são utilizados reservatórios superiores, sendo que na Figura 3.19A a parcela de pavimentos localizada na porção superior do edifício é abastecida diretamente por esse reservatório. Para os pavimentos inferiores, onde a pressão está acima de um limite admissível, utiliza-se uma válvula redutora de pressão no pavimento térreo, por exemplo, de forma que todos sejam atendidos em uma condição adequada de pressão.

No caso da Figura 3.19B, é utilizado um reservatório intermediário, além do reservatório superior. Dessa forma, os pavimentos inferiores são atendidos pelo reservatório intermediário, que recebe água de uma bomba independente. No caso da Figura 3.19C, também se utiliza uma válvula redutora de pressão, porém posicionada em um pavimento intermediário, obtendo-se um resultado semelhante à Figura 3.19A. Finalmente, na Figura

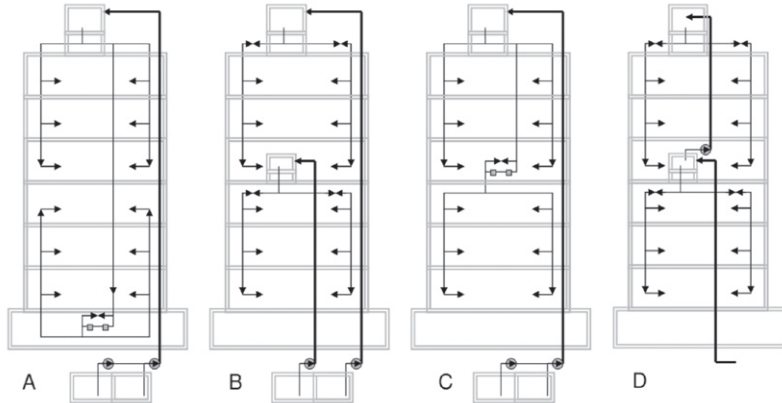



Figura 3.19 Distribuição de água em edifícios elevados

3.19D é apresentada uma solução que não utiliza reservatório inferior, como nos três casos anteriores, onde a energia de pressão contida na água da rede é completamente desperdiçada. Já no caso da Figura 3.19D, aproveita-se a pressão fornecida pela rede de distribuição e a água é conduzida diretamente para um reservatório superior intermediário. Dessa forma, dispensa-se a instalação de bombas para abastecimento dos pisos localizados abaixo do reservatório intermediário. Caso a edificação possua poucos pisos, a pressão da rede pode ser suficiente para que a água seja elevada diretamente para o reservatório superior, dispensando totalmente a instalação de bombas.

Sob o ponto de vista de consumo de energia, inicialmente pode-se argumentar que as opções A e C acarretam consumo maior de energia, uma vez que parte da energia utilizada para elevar a água até o reservatório superior é simplesmente dispersada através da válvula redutora de pressão. No caso da opção B essa dispersão não ocorre, mas não implica necessariamente em menor consumo de energia, uma vez que deve-se analisar o comportamento das curvas características da bomba e do sistema. Além disso, o reservatório intermediário necessita de espaço razoável para sua construção, o que pode inviabilizar essa alternativa. De qualquer forma, a alternativa D representa a melhor solução do ponto de vista energético, por dispensar a instalação de sistemas de bombeamento.

No caso do conjunto elevatório indireto com bombeamento, que é o mais comum, a instalação caracteriza-se pelos seguintes componentes:

- 2 bombas centrífugas (uma reserva)
- 2 motores elétricos (um reserva)

- Tubulações de sucção
- Tubulação de recalque
- Registro de gaveta
- Válvulas de retenção na tubulação de sucção e na tubulação de recalque
- Comando automático (automático da bóia)
- Quadro elétrico de comando
- Eventualmente uma válvula anti-golpe de aríete

Como os motores usados para o acionamento de bombas de recalque em edifícios são geralmente de baixa potência, é comum que o acionamento seja direto, comandado por bóias indicadoras de nível dos reservatórios superior e inferior. Como regra de funcionamento do comando liga-desliga, o motor é ligado quando o reservatório superior está com nível baixo e é desligado quando o reservatório superior está com nível máximo ou quando o reservatório inferior está com nível baixo. A manutenção adequada do sistema de comando, incluindo o ajuste das bóias, faz com que o reservatório não extravase, desperdiçando água e energia. A Tabela 3.7 apresenta valores indicativos para o consumo predial diário, dados em litros por dia, servindo de referência para estimativas de consumo de água e dimensionamento dos conjuntos motor-bomba.

Tabela 3.7 > Consumo predial diário

TIPO DE EDIFICAÇÃO	CONSUMO (litros/dia)	
Apartamento de padrão médio	250	*per capita*
Apartamento de padrão luxo	300	*per capita*
Edifícios públicos ou comerciais	80	*per capita*
Escolas – externatos	50	*per capita*
Escritórios	50	*per capita*
Hotéis (sem cozinha e sem lavanderia)	120	por hóspede
Hotéis (com cozinha e com lavanderia)	250	por hóspede
Hospitais	250	por leito

Exemplo: Considere um edifício residencial de classe média onde há 4 pessoas por apartamento e 5 apartamentos por andar. Se o consumo médio diário de água corresponde a 250 l.*capita*.dia, calcule a potência estimada do conjunto motor-bomba, a energia consumida mensalmente para bombear o volume diário, o tempo de operação da bomba e a despesa com energia elétrica para a tarifa de 297 R$.MWh. A Tabela 3.8 apresenta a comparação de consumo de energia nesse edifício, considerando o mesmo com diferentes números de pavimentos (3, 5, 10, 20 e 30) mantendo a vazão da bomba em 10 l.s.

Tabela 3.8 > Exemplo de cálculo do consumo de energia em edificação residencial

PAVIMENTOS	VOLUME TOTAL (L/DIA)	TEMPO DE OPERAÇÃO (MIN)	VAZÃO (L/S)	ALTURA (M)	POTÊNCIA (CV)	ENERGIA (KWH/MÊS)	R$
3	15.000	25	10	11	3	25	7,50
5	25.000	42	10	17	4	65	19,33
10	50.000	83	10	32	8	245	72,77
20	100.000	167	10	62	16	949	281,96
30	150.000	250	10	92	23	2.113	627,60

Na tabela 3.8, a potência requerida foi estimada pela Equação 3.11, a energia consumida mensalmente é obtida multiplicando a potência pelo número de horas diárias de operação e pelo número de dias do mês. E, finalmente, o valor monetário é calculado multiplicando-se a tarifa de energia (0,297 R$.kWh) pela energia consumida.

Exemplo: Considere um edifício comercial de escritórios onde há 4 pessoas por sala e 5 salas por andar. Se o consumo médio diário de água corresponde a 50L.*capita*.dia, calcule a potência estimada do conjunto motor-bomba, a energia consumida mensalmente para bombear o volume diário, o tempo de operação da bomba e a despesa com energia elétrica para a tarifa de 297 R$.MWh. A Tabela 3.9 apresenta a comparação de consumo de energia nesse edifício, considerando o mesmo com diferentes números de pavimentos (3, 5, 10, 20 e 30) mantendo a vazão da bomba em 10 l.s.

Na tabela 3.9, a potência requerida foi estimada pela Equação 3.11, a energia consumida mensalmente é obtida multiplicando a potência pelo número de horas diárias de operação e pelo número de dias do mês. E, finalmente, o valor monetário é calculado multiplicando-se a tarifa de energia (0,297 R$.kWh) pela energia consumida.

Tabela 3.9 > Exemplo de cálculo do consumo de energia em edificação comercial

PAVIMENTOS	VOLUME TOTAL (L.DIA)	TEMPO DE OPERAÇÃO (MIN)	VAZÃO (L.S)	ALTURA (M)	POTÊNCIA (CV)	ENERGIA (KWH.MÊS)	R$
3	7.500	13	10	11	3	13	3,75
5	12.500	21	10	17	4	33	9,66
10	25.000	42	10	32	8	123	36,38
20	50.000	83	10	62	16	475	140,98
30	75.000	125	10	92	23	1.057	313,80

3.6 Perdas e indicadores de consumo de energia em sistemas públicos

Uma forma de avaliar a potencialidade de melhoria na eficiência energética de um sistema é a partir da construção de indicadores de eficiência, que podem ser usados para comparar a eficiência energética de sistemas e cenários distintos. Para análise da eficiência energética, Alegre *et al.* (2006) propõe indicadores, implantados na base de indicadores da International Water Association (IWA) e nas normas recém publicadas ISO 24500. É importante lembrar que indicadores estão alinhados aos objetivos estratégicos: (a) assegurar o fornecimento do serviço em condições normais e de emergência (manutenção de pressões adequadas nas redes de adução e distribuição), (b) garantir a sustentabilidade da entidade gestora (dimensão adequada das infra-estruturas, sustentabilidade econômico-financeira) e (c) proteger o ambiente (redução das quantidades de energia consumida, utilização de energias renováveis). Os indicadores mais conhecidos na literatura são os seguintes:

a) Consumo Específico de Energia Elétrica (CE). é um indicador de desempenho passível de comparação à padrões estabelecidos internacionalmente. Para a composição deste indicador são necessários registros de grandezas físicas durante o mesmo período de tempo. Para o cálculo do CE, faz-se:

$$CE = \frac{P_a \times t}{V} (kWh / m^3) \qquad \text{Equação 3.23}$$

Em que,

P_a é a potência elétrica medida (kW)

t é o tempo de bombeamento (h)

V é o volume bombeado (m^3)

b) Consumo Específico Normalizado de Energia Elétrica (CEN): é um indicador que leva em consideração as diferentes configurações de sistema de abastecimento de água. A *International Water Association* (IWA) tem adotado o CEN para comparar o desempenho de sistemas. Este indicador reduz as alturas manométricas (H) de diferentes instalações a uma altura única, de modo a permitir a comparação do desempenho destas, sendo definido como "a quantidade média de energia gasta para elevar 1 metro cúbico de água a 100 m de altura por meio de instalações de bombeamento". Este indicador é calculado pela expressão seguinte:

$$CEN = \frac{P_a \times t}{V \times \frac{H_{man}}{100}} (kWh / m^3 /100) \qquad \text{Equação 3.24}$$

Em que,

H_{man} é a altura manométrica de recalque (m)

Segundo Alegre *et al.* (2006) o valor médio deste indicador é da ordem de 0,5 kWh.m^3 para 100 m de altura manométrica. Entretanto, análises sobre o emprego desse indicador foram realizadas pelos trabalhos da rede 5/PROSAB 5, e os resultados indicam que o mesmo não se mostrou adequado para avaliar a melhoria de eficiência de sistemas de bombeamento. Maiores detalhes sobre essas análises são apresentadas nos itens seguintes.

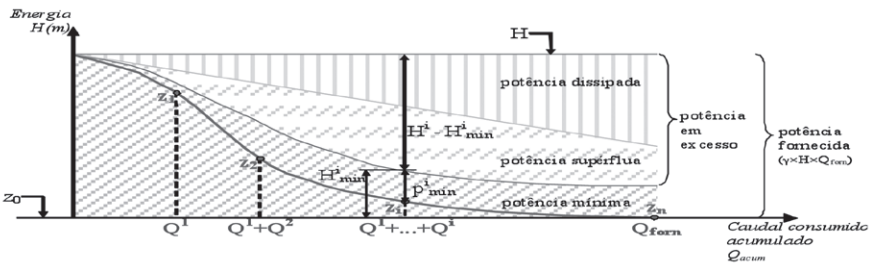
Além desses indicadores convencionais, destacam-se os indicadores recentemente propostos por Duarte *et al.*(2008). Essa nova proposição parte do pressuposto que o CE é um indicador é útil para acompanhar a evolução do desempenho de uma mesma instalação de bombeamento, embora não seja recomendado para comparar o desempenho de instalações de bombeamento distintas, pois não reflete o número de horas de funcionamento dos diferentes grupos elevatórios e nem a configuração do sistema de recalque. Para esses pesquisadores, indicadores de eficiência energética devem ser baseados no conceito de energia dissipada, conforme ilustrado pela Figura 3.20.

FONTE: Duarte *et al.* (2008)

Figura 3.20 Representação dos vários tipos de potência num sistema de abastecimento de água.

Da Figura 3.20 são definidas as seguintes grandezas:

- Potência fornecida – é toda a potência fornecida ao sistema, considerando as diversas origens, medida em relação à cota de referência adotada;
- Potência mínima (teórica) - é o somatório das potências mínimas exigidas em cada nó, em todos os pontos de consumo para satisfazer as respectivas pressões mínimas (pimin), medidas em relação à cota de referência adotada;
- Potência em excesso (teórica) - corresponde à diferença entre a potência fornecida e a potência mínima;

- Potência dissipada – toda a potência dissipada no escoamento, devido às perdas de carga;
- Potência disponível - é dada pela diferença entre a potência fornecida e a potência dissipada;
- Potência supérflua - corresponde à potência fornecida ao sistema para além da soma da potência mínima com a potência dissipada.

A partir desses conceitos são propostos alguns índices para avaliação do sistema, conforme descrito a seguir:

E1- Energia em Excesso por Volume de Água Entrada no Sistema (kWh.m^3): esse índice, proposto por Duarte *et al.* (2008) traduz o potencial teórico de redução de energia por volume de água aduzida ao sistema. Por sua definição, é sempre superior a zero, dado que em qualquer sistema real existe energia dissipada. No entanto, quanto menor for este índice, melhor. O índice é adequado para avaliar o impacto de medidas de gestão de energia tais como a utilização de grupos motor-bomba com velocidade de rotação ou a redução da carga hidráulica fornecida na origem. No entanto, não é adequado para avaliar o efeito de medidas de controle de perdas de água na eficiência energética do sistema, dado que estas se traduzem na redução da vazão fornecida (Q_{forn}), que intervém não só no numerador, mas também no denominador, não sendo evidente o sentido da variação do índice. Pelos mesmos argumentos também não é adequado para comparar sistemas com diferentes níveis de perdas de água. Neste contexto, sugere-se o índice com a seguinte formulação:

$$E1 = \frac{E_{exc}}{V_{forn}} = \frac{\int P_{exc}(t)\,dt}{\int Q_{forn}(t)\,dt} \quad \text{Equação 3.25}$$

Em que,

E_{exc} é a energia em excesso (kWh)

V_{forn} é o volume total fornecido ao sistema (m^3)

P_{exc} é a potência em excesso (kW)

Q_{forn} é a vazão fornecida ao sistema (m^3/s)

t é tempo (h)

Caso a vazão seja constante no tempo, a equação pode ser reescrita como segue:

$$E1 = \frac{P_{exc}}{Q_{forn}} = \frac{P_{forn} - P_{\min}}{Q_{forn}} \qquad \text{Equação 3.26}$$

Em que,

P_{rec} é a energia em excesso (kWh)

P_{min} é a potência mínima necessária à operação do sistema (kW)

$$E1 = \frac{\gamma^* \left[Q_{forn} * H - \sum_{k=1}^{NT} Q_k * H_{\min(k)} \right]}{3.6 * 10^6 * Q_{forn}} \qquad \text{(kWh) Equação 3.27}$$

Em que,

é o peso específica da água (kgf/m^3)

H é altura manométrica total do sistema (m)

NT é o número total de nós da rede

Q_k é vazão no k-ésimo nó (m^3/s)

$H_{min(k)}$ é altura manométrica mínima no k-ésimo nó (m)

E2- Energia em Excesso por Volume de Água Faturada. Esse índice traduz o potencial teórico de redução de energia por m^3 de água faturada. Também é sempre superior a zero, sendo desejável que seja tão reduzido quando possível. O E2 permite verificar a influência das perdas de água na economia com energia (recalcar a água até reservatórios), pois se tiver redução das perdas reais, o índice terá um valor inferior, pois o numerador diminui enquanto o denominador se mantém. A redução de perda de carga por reabilitação da rede só terá reflexo em termos de energia, no que se refere aos indicadores E1 e E2, se for possível reduzir a carga hidráulica disponibilizada (potência fornecida). Medidas que conduzam à redução de perdas aparentes, têm um efeito direto na redução do valor do índice E2, não só porque fazem aumentar o denominador (volume faturado), mas também porque o numerador diminui (a potência fornecida mantém-se, mas a potência mínima aumenta).

$$E2 = \frac{E_{exc}}{V_{fat}} = \frac{\int P_{exc}(t)\, dt}{\int Q_{fat}(t)\, dt} \qquad \text{Equação 3.28}$$

Em que

V_{fat} é o volume de água faturado (m³)

Q_{fat} é a vazão faturada (m³/s)

Novamente, caso a vazão seja constante no tempo, a equação pode ser reescrita como segue:

$$E2 = \frac{P_{exc}}{Q_{fat}} = \frac{P_{forn} - P_{min}}{Q_{fat}} \quad \text{Equação 3.29}$$

$$E2 = \frac{\gamma^* \left[Q_{forn} * H - \sum_{k=1}^{NT} Q_k * H_{min(k)} \right]}{3.6 * 10^6 * Q_{fat}} \quad \text{(kWh) Equação 3.30}$$

E3- Economia da Energia: o terceiro índice é a relação da energia fornecida pela energia mínima, quantificando diretamente o excesso teórico que é fornecido ao sistema, sendo sempre superior a 1, visto que a energia fornecida inclui sempre uma parcela de energia para cobrir as perdas dos sistemas. No entanto depende do referencial adotado para as cotas. Por esta razão é importante adotar a cota de referência como a cota do ponto mais desfavorável do sistema. O cálculo do índice E3 pode ser realizado pelas Equações 31 e 32.

$$E3 = \frac{E_{forn}}{E_{min}} = \frac{\int P_{forn}(t)\,dt}{\int P_{min}(t)\,dt} \quad \text{Equação 3.31}$$

$$E3 = \frac{P_{forn}}{P_{min}} = \frac{\left[Q_{forn} * H - \sum_{k=1}^{NT} Q^k * H^k_{rec} \right]}{\sum_{i=1}^{n} Q^i * H^i_{min}} \quad \text{(kWh) Equação 3.32}$$

E4 - Energia em Excesso por Volume de Água Perdida Real: o índice E4 representa a energia em excesso por volume de água perdida real. Este índice a exemplo dos dois primeiros, sempre será superior a zero, no entanto, quanto maior, melhor será a eficiência energética, visto apresentar menores perdas. A energia em excesso só irá aumentar no caso de aumentarmos a potência fornecida, enquanto a potência mínima permanece constante. E para que ocorra aumento da energia fornecida, é necessário

aumentar a vazão, que aumentará caso aumentem as perdas. De forma semelhante aos demais, esse índice pode ser calculado pelas equações 33 e 34.

$$E4 = \frac{E_{exc}}{V_{perdas\ Reais}} = \frac{\int P_{exc}(t)\,dt}{\int Q_{perdas\ Reais}(t)\,dt} \quad \text{Equação 3.33}$$

Em que

$V_{perdasReais}$ é o volume de perdas reais de água (m^3)

$Q_{perdasReais}$ é a vazão correspondente às perdas reais (m^3/s)

$$E4 = \frac{\gamma * \left[Q_{forn} * H - \sum_{k=1}^{NT} Q^{k} * H_{rec}^{K} - \sum_{i=1}^{n} Q^{i} * H_{\min}^{i} \right]}{3.6 * 10^{6} * Q_{perdas\ Reais}} \quad \text{(kWh) Equação 3.34}$$

3.7 Perdas e indicadores de consumo de energia em sistemas prediais

Nos sistemas prediais com finalidades residenciais, comerciais ou públicas, é comum se conhecer o número de pessoas que circulam durante o dia e sua ocupação. Além disso, equipamentos de gerenciamento energético permitem com maior facilidade o conhecimento do consumo de energia elétrica global ou de equipamentos específicos que se desejam monitorar, como no caso de bombas de recalque. O acompanhamento do consumo de energia elétrica juntamente com o consumo de água possibilita a criação de índices de consumo específico da mesma forma que é feita a gestão de outras utilidades. Porém é necessário realizar investimentos em equipamentos de manutenção e procedimentos operacionais para criar os índices, o que pode resultar em investimentos maiores do que a própria bomba.

Por isso equipamentos de automação e medição de sistemas maiores devem englobar essas áreas como um ponto de medição adicional no conjunto, não um ponto único. Neste caso, havendo medidor de energia elétrica e hidrômetro no sistema de bombeamento, é possível utilizar o índice de consumo específico de energia por volume de água bombeada (CE) e o de consumo específico normalizado (CEN), tal como empregado em sistemas públicos (Equações 3.23 e 3.24).

Adicionalmente, também pode ser considerada a taxa de ocupação do edifício, gerando um índice de consumo *per capita* de energia. Em caso de edifícios comerciais

e públicos esse monitoramento da circulação de pessoas pode ser facilitado por meio do uso de catracas eletrônicas e crachás, que geralmente fazem parte do sistema de segurança interno. Dessa forma obtém-se um índice dado por:

$$C_{PC} = \frac{Consumo_{energia}}{Ocupação}\left[\frac{kW}{capita}\right] \quad \text{Equação 3.35}$$

A comparação do desempenho de edifícios também é possível quando se leva em consideração a área útil construída e o tipo de atividade. Dessa forma, pode-se utilizar o seguinte índice:

$$CA = \frac{\text{Consumo energia}}{\text{Área Construída}}\left[\frac{kW}{m^2}\right] \quad \text{Equação 3.36}$$

No caso da administração pública, que possui muitos edifícios similares, é um exemplo onde facilmente um programa de gestão possibilitaria a comparação do desempenho energético em muitas unidades, fornecendo ricas informações sobre oportunidades de melhoria e aumento da eficiência energética. O grande número de informações também pode sugerir a construção de modelos matemáticos para auxiliar essa gestão. O desperdício de água também representa perdas significativas de energia e água nos sistemas prediais. Neste sentido, algumas medidas já vêm sendo tomadas para reduzir o desperdício, sendo mais viáveis quando seguidas durante a fase de construção. Entre estas medidas podem-se citar:

- a substituição de torneiras normais por outras com sensores térmicos ou com molas de fechamento automático;
- a substituição de válvulas de descarga de parede por caixas acopladas;
- O reaproveitamento de água pluvial de captação para fins onde não há necessidade de água potável;
- reuso da água de torneiras para fins onde não há necessidade de água potável.

3.8 Experiências da rede temática 5 do Prosab 5

3.8.1 Experiência da UFMS sobre Perdas e Indicadores de Energia em Sistemas Públicos

O principal objetivo do projeto da UFMS, no âmbito do Prosab, foi desenvolver produtos tecnológicos baseados em tecnologias de informação que auxiliem o controle das perdas em sistemas de abastecimento. Porém, é notório que para cada volume da água perdida há também outros insumos que são desperdiçados tais como energia e produtos químicos. Como objetivo específico, o projeto da UFMS contemplou a investigação das relações entre perdas reais e consumo de energia elétrica.

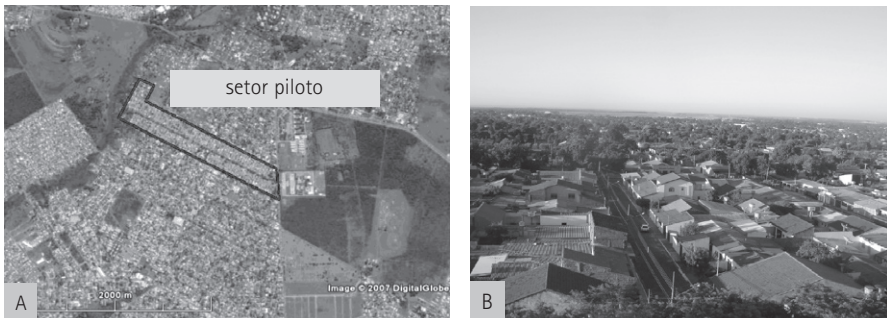
Para a realização da pesquisa utilizou-se um setor de distribuição de água do município de Campo Grande–MS situado na região noroeste de Campo Grande - MS. O bairro em questão foi escolhido por ser um setor isolado cujo suprimento de água é conhecido (Figura 3.21). As características do setor são apresentadas na Tabela 3.10.

FONTE: DUARTE *ET AL.* (2008)

Figura 3.21 (a) Vista área do setor piloto experimental e (b) visão geral do setor

Tabela 3.10 > Dados característicos do setor piloto

VARIÁVEL CARACTERÍSTICA	DADOS
Perfil do consumidor	Classe social média-baixa
Número de Ligações	1632
Extensão da Rede	9,7 km
Grandes consumidores	Não há
População atendida	6520 habitantes

3.8.2 Caracterização do sistema elevatório

O reservatório do referido setor é abastecido por duas linhas de recalque, respectivamente Linha A e Linha B (Figura 3.22), ambas realizam captação de água subterrânea. O cálculo dos parâmetros elétricos foi realizado com o uso de analisadores de energia

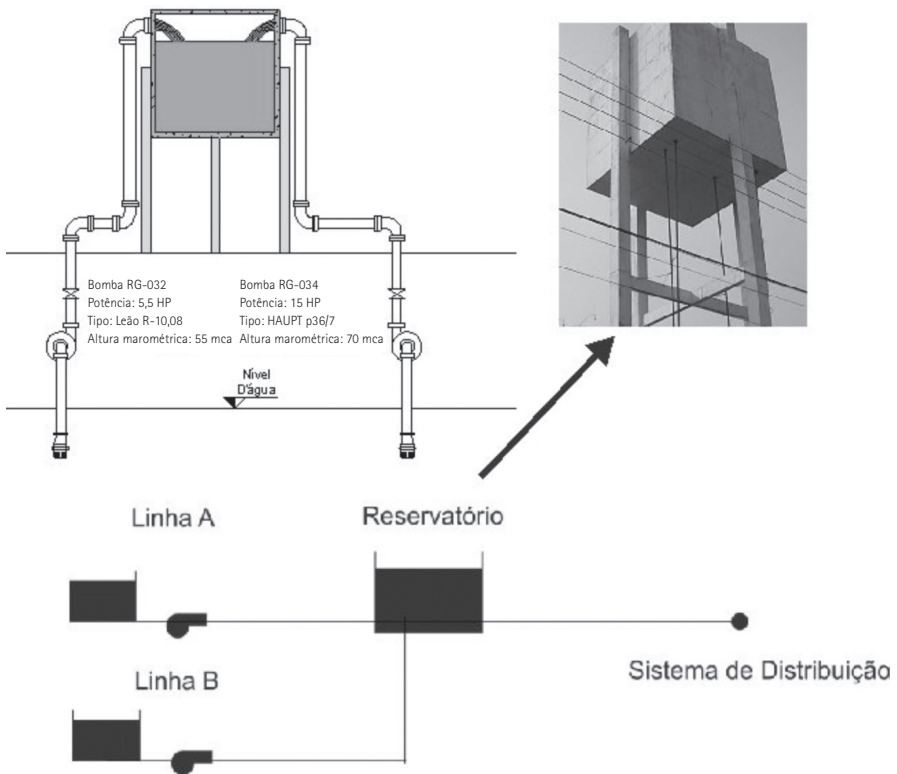
(Figura 3.23). Para o cálculo da curva característica das bombas foram realizadas manobras nas válvulas na linha de recalque, obtendo os pontos necessários para o levantamento da curva, obtendo as alturas manométricas de elevação (Linha A = 53.4 mca e Linha B = 68.8 mca). A Tabela 3.11 apresenta os dados das bombas e a Tabela 3.12 os resultados dos índices de eficiência energética para um período de 24 horas.

FONTE: Duarte *et al.* (2008)

Figura 3.22 Concepção do sistema de bombeamento do setor piloto

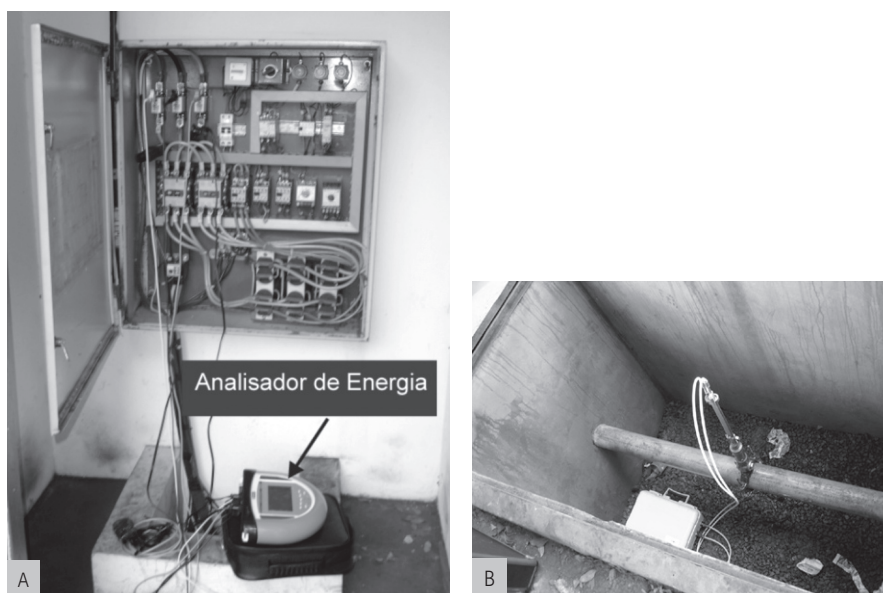



Figura 3.23 (a) Analisador de energia instalado no quadro elétrico do conjunto motor bomba do setor piloto; (b) Monitoramento de vazão na linha de distribuição.

Tabela 3.11 > Dados das bombas do sistema piloto

CÓDIGO DO POCO	VAZÃO MEDIA	ALTURA	TIPO DE BOMBA	POT.
	(m3.h)	**(m.c.a)**	**Marca.Mod.Estágios**	**kW**
Linha A	11.60	53.4	LEÃO R-10/08	2.69
Linha B	29.50	68.8	HAUPT P63 / 7	3.70

Tabela 3.12 > Indicadores de eficiência energética

BOMBAS	FP	CE	CEN
Recalque A	0.98	0.233	0.435
Recalque B	0.68	0.123	0.178

Os indicadores E1, E2, E3 e E4 descritos acima foram considerados em dois setores (A e B). O sistema A é o setor experimental piloto e o sistema B é um setor do sistema de abastecimento do município de Campo Grande que foi adotado para efeito de comparações (*benchmarking*). Para o sistema A, foram considerados vários cenários de perdas (0%, 25%, 50%, 75%), sendo que o cenário A5 representa a situação real das perdas to-

tais do setor piloto. Para o sistema B foi considerado apenas um cenário de avaliação que representasse as perdas totais reais. As representações de ambos os sistemas, no modelo de simulação, são apresentadas nas Figuras 3.24 e 3.25. Os resultados, em termos de indicadores de consumo de energia são apresentados na Tabela 3.13.

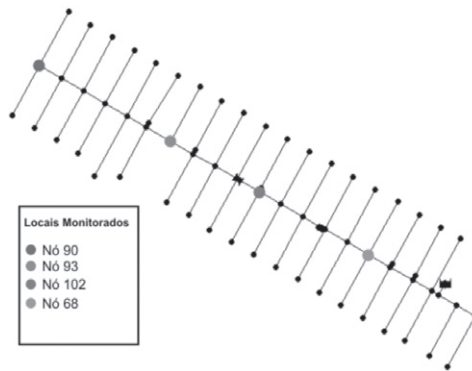
- Cenário A1: perdas reais nulas no setor piloto;
- Cenário A2: Perdas totais na ordem de 25% no setor piloto;
- Cenário A3: Perdas totais na ordem de 50% no setor piloto;
- Cenário A4: Perdas totais na ordem de 75% no setor piloto;
- Cenário A5: Perdas totais reais do setor piloto;
- Cenário B: Perdas totais reais do sistema B.

FONTE: Duarte *et al.* (2008)

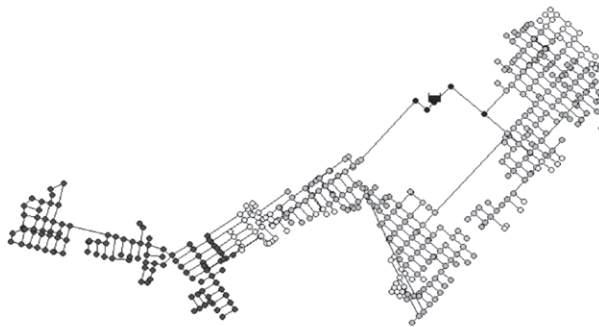
Figura 3.24	Modelo representativo do sistema A (setor experimental piloto)

FONTE: Duarte *et al.* (2008)

Figura 3.25	Modelo representativo do sistema B

Tabela 3.13 > Resultados finais dos indicadores

INDICADOR	CENÁRIOS					
	A1	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**B**
E1	0.057	0.433	0.826	1.245	1.013	1.421
E2	0.059	0.586	1.629	4.797	2.552	5.309
E3	1.035	1.347	1.964	3.840	2.511	3.867
E4	-	1.853	1.740	1.702	1.719	1.997

Com base nos resultados da Tabela 3.13, temos as seguintes conclusões a respeito do indicador E1:

a) O valor de *E1* aumentou linearmente com o aumento das perdas totais como mostra a Figura 3.26. Assim, o indicador é válido para avaliarmos a energia em excesso no sistema em função das perdas reais que ocorrem nos cenários, sendo que quanto menor este indicador, melhor é a eficiência energética.

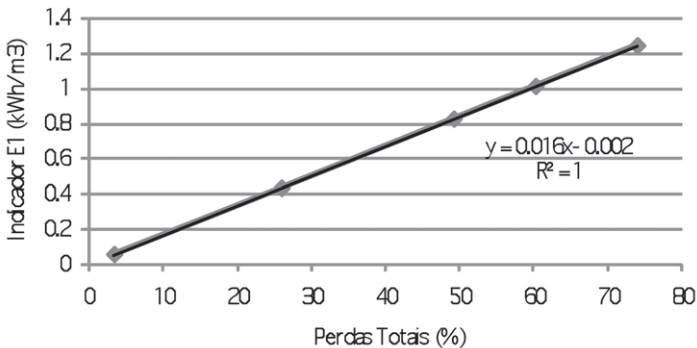



Figura 3.26 Variação do indicador E1 de acordo com o percentual de perdas totais

b) Comparando os dois sistemas, A e B, na Tabela 3.13, verificamos que o sistema A apresenta menos energia em excesso no sistema por volume de água fornecida do que o sistema B, sendo desta forma mais eficiente energeticamente.

O indicador *E2* mostrou-se eficiente na comparação de cenários, bem como de sistemas, assumindo valores tanto menores quanto melhor a eficiência energética, ou seja, quanto maiores as perdas, maior será a energia em excesso por volume de água faturada.

A Figura 3.27 mostra a evolução do indicador conforme aumenta o percentual de perdas de água no sistema.

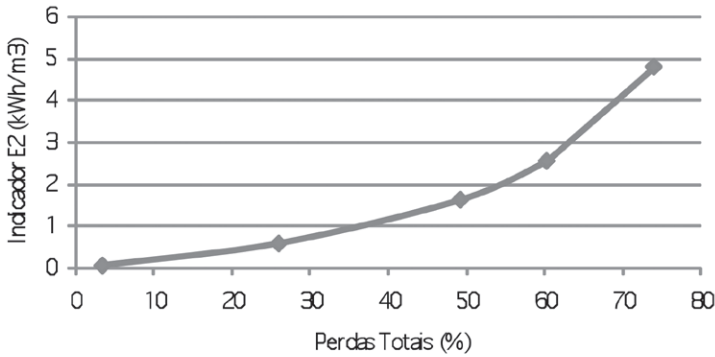



Figura 3.27 Comportamento do indicador E2 em relação às perdas totais

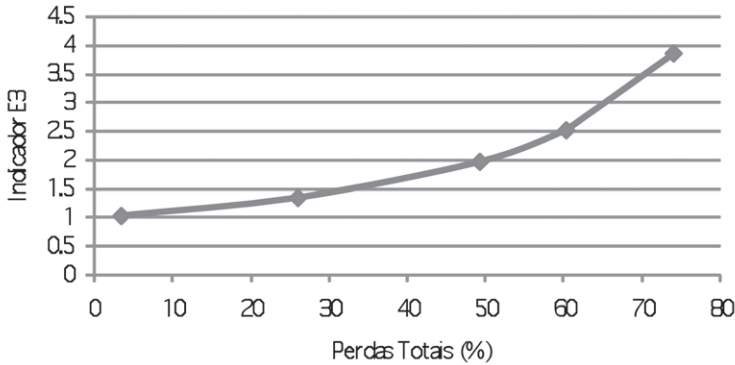



Figura 3.28 Evolução do indicador E3 com o aumento das perdas

O terceiro índice que representa a relação da energia fornecida pela energia mínima, quantificou o excesso teórico de energia fornecido ao sistema. Apresentou um comportamento semelhante ao indicador *E2*, variando dentro de um mesmo sistema, quando variamos as perdas totais. A situação pode ser mais bem compreendida quando analisamos a equação do indicador e suas variáveis (Equação 3.30). Como *E3* é a relação da potência fornecida pela potência mínima e apenas a potência fornecida cresceu como mostra a Figura 3.28, obtivemos assim o crescimento deste indicador conforme aumentaram as perdas.

Este índice foi ajustado para uma forma percentual, trazendo melhor compreensão. Obtivemos a seguinte equação:

$$E1 = \frac{\gamma^* \left[Q_{forn} * H - \sum_{k=1}^{NT} Q_k * H_{\min(k)} \right]}{3.6 * 10^6 * Q_{forn}} \quad \text{Equação 3.37}$$

Desta forma obtivemos os seguintes percentuais de energia em excesso: 3,5% para o cenário A1, 34,7% para o cenário A2, 96,4% no cenário A3, 284% para o cenário A4 e 151,1% no cenário A5. Para os sistemas reais A e B, o excesso de energia foi de 151,1 e 99,7%, respectivamente.

O quarto índice, *E4*, diz que quanto menor for seu valor, menor é a eficiência energética (Figura 3.29).

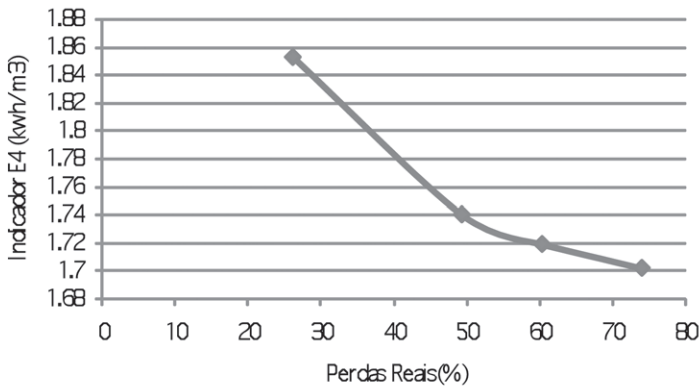



Figura 3.29 Evolução do Indicador E4 com aumento das perdas reais

Assim é possível verificar por este indicador a influência das perdas reais na economia de energia, visto que a medida que as perdas aumentam, este índice tem seu valor reduzido, o que indica queda na eficiência. No entanto este indicador se restringe à avaliação das consequências do controle das perdas reais no sistema. Tanto é que para o caso de uma redução nas perdas aparentes, teríamos um aumento no volume faturado apenas, não afetando em nada este indicador. Além disso, como a potência mínima é constante, temos como variáveis a potência fornecida e o volume de perdas reais. Quanto maior o volume de perdas reais, maior será a vazão fornecida ao sistema, aumentando da mesma forma a potência fornecida. No entanto a variação na potência fornecida é menor do que a variação das perdas reais, tornando assim o indicador com valor numérico menor, mostrando uma menor eficiência energética. Muitas vezes,

o indicador por si só não permite uma visualização em termos econômicos de possíveis intervenções no sistema. Para isso foi elaborado o cálculo do montante pecuniário economizado com uma redução de 50% nas energias em excesso (Figura 3.30).

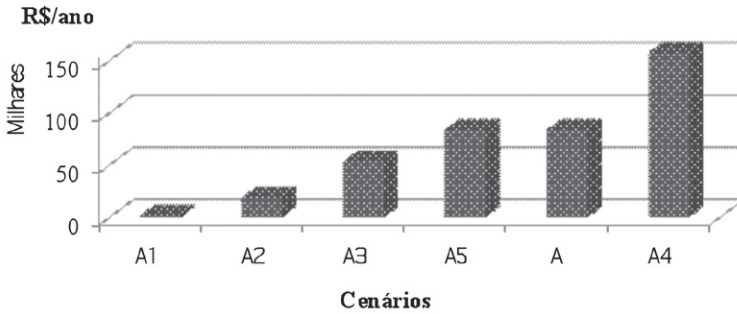



Figura 3.30 Economia pecuniária em cada cenário

Para o sistema A que atende uma população aproximada de 2800 habitantes, e considerando a tarifa de energia elétrica média paga pelas concessionárias de R$ 0,43 por KWh, segundo o SNIS 2006, uma economia de R$ 84.000,00 aproximadamente, por ano, é um montante apreciável, e que com certeza daria uma estabilidade econômica à concessionária. A determinação dos indicadores *E1* e *E2* já se mostra suficiente para uma avaliação da eficiência energética dos sistemas, visto considerar nestes dois indicadores, tanto a vazão que é fornecida no sistema, que de forma indireta corresponde às vazões consumidas no sistema pelas perdas, quanto a eficiência em termos de faturamento do sistema, por considerar no indicador *E2* as vazões faturadas.

3.8.3 Experiência da Unifei sobre Perdas e Indicadores de Energia em Sistemas Públicos

O objetivo do projeto conduzido pela Unifei foi de avaliar a eficiência na distribuição e no uso da água sob os aspectos de perdas energéticas, com enfoque sobre a metodologia de controle do conjunto motor-bomba através da variação de sua rotação. Nesse item são apresentados resultados de um estudo de caso sobre um sistema piloto da cidade de Itajubá (MG), denominado Vista Verde e operado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa). A Figura 3.31 mostra um croqui da estação elevatória. A casa de máquinas possui dois conjuntos moto-bombas de potência 15 cv, sendo um deles para a operação e o outro de reserva. A Copasa adota como rodízio, para utilização de cada conjunto, o tempo de uma semana.

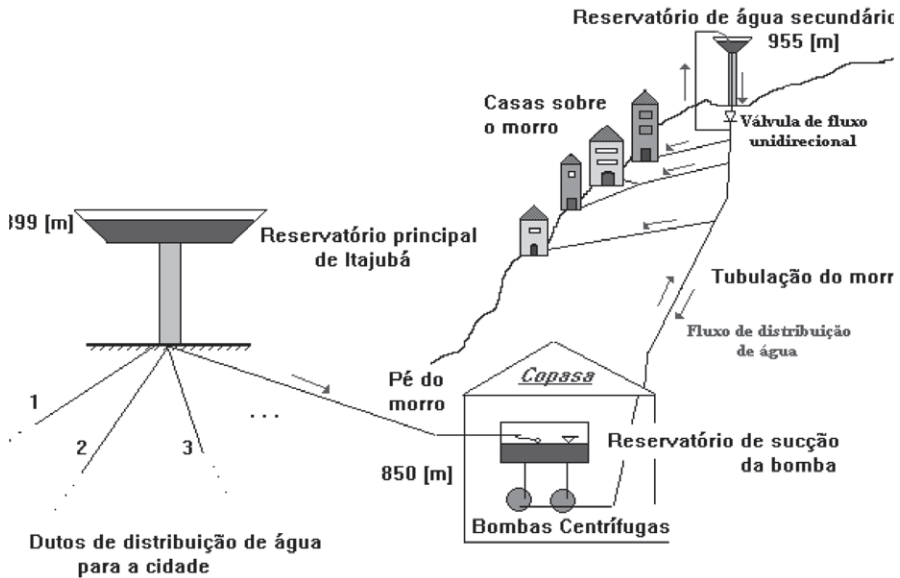



Figura 3.31 Estação Elevatória Vista Verde

O reservatório de sucção ou de alimentação das bombas possui uma válvula bóia para o controle de seu nível. As bombas são instaladas abaixo do nível do reservatório, o que as caracteriza como afogadas, situação muito comum neste tipo de instalação. Na linha de sucção de cada bomba, de diâmetro 4", está instalada uma válvula gaveta, que permanece aberta no conjunto que está em operação e fechada no de reserva. No caso da linha de recalque, de diâmetro de 3", cada bomba em sua saída possui uma válvula gaveta que permanece sempre aberta, sendo fechada apenas quando há manutenção no sistema. Um pouco acima da saída estão instalados um manômetro tipo Bourdon e um pressostato que desliga o conjunto quando a pressão atinge 12 kgf.cm^2.

A bomba alimenta a linha principal do bairro, no sentido de seu reservatório na cota 955 m (o reservatório principal da cidade se encontra na cota de altitude 899 m). Neste sentido existe a distribuição para os consumidores. A linha possui um "*by pass*" que alimenta o reservatório e uma válvula unidirecional que atende, no retorno, os consumidores por gravidade.

A bomba é controlada por um "*timer*" instalado no painel elétrico. Após atingir a pressão de desligamento, a bomba permanece aproximadamente duas horas em re-

pouso, sendo então novamente acionada. Em situações críticas de consumo de água, quando este tempo for excessivo, a bomba é ligada manualmente por um operador solicitado pela população. Existe ainda uma bóia na caixa d´água para evitar o seu transbordamento se houver algum problema com o sistema automático. A Tabela 3.14 apresenta dados da bomba e do motor de acionamento, a Figura 3.32 apresenta a casa de máquinas da Estação Elevatória e a Figura 3.33 mostra o perfil de consumo observado no sistema.

Tabela 3.14 > Características da bomba e do motor de acionamento

MOTOR		BOMBA	
Tipo	**Gaiola**	**Tipo**	**Centrífuga**
Carcaça	Monobloco	Carcaça	Difusora
Quantidade	2	Quantidade	2
Tensão	220 V	Altura	113,4 m
Corrente	38 A	Vazão	15,73 m^3.h
Proteção/Isolamento	IP -54/13	Número de Estágios	4
Rotação	3.500 rpm	Rotação	3.500 rpm
Potência	15 cv	Potência	15 cv
Fabricante	WEG	Fabricante	MARK-PEERLESS

Figura 3.32 Casa de máquinas da Estação Elevatória

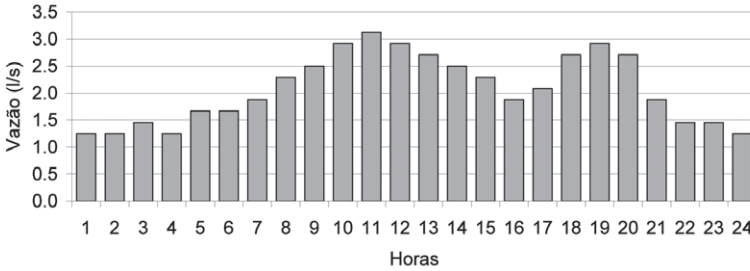



Figura 3.33 Perfil de consumo do sistema Vista Verde

Dessa forma, para esse sistema, o comportamento da bomba foi avaliado para 4 métodos de controle distintos, através do programa computacional desenvolvido: a) operação do tipo liga-desliga, onde a bomba trabalha com uma única rotação, mas desliga sempre que o reservatório atinge o nível máximo e religa após atingir o nível mínimo; b) operação somente pela abertura e fechamento da válvula de controle de pressão; c) operação somente pela variação da rotação; d) operação mista, através do controle combinado entre rotação e válvula redutora de pressão.

Os resultados em termos de consumo médio de energia são apresentados na Tabela 3.15. Os valores apresentados nessa tabela representam a média do período de 24 horas, discretizado em valores horários. Nessa tabela se observa que o método que mais consome energia é o controle somente com a válvula de estrangulamento, com 7,87 (kWh). Na seqüência, em ordem decrescente de consumo, estão os métodos Liga-Desliga com 4,63 kWh, Rotação com 4,27 kWh e Misto (Rotação e Válvula) com 4,23 kWh.

Tabela 3.15 > Consumo de energia em diferentes tipos de controle

TIPO DE CONTROLE	CONSUMO MÉDIO (KWH)	CEN (KWH/(M^3.M/100)
Liga-Desliga	4.63	0.51
Válvula	7.87	0.78
Rotação	4.27	0.61
Rotação e válvula	4.23	0.59

A Figura 3.34 mostra a variação do rendimento da bomba, em que se observa que no controle por válvula a bomba trabalha sempre com rendimento mais baixo. No controle Liga-desliga o rendimento é sempre elevado, uma vez que a bomba trabalha sempre próxima de seu ponto nominal.

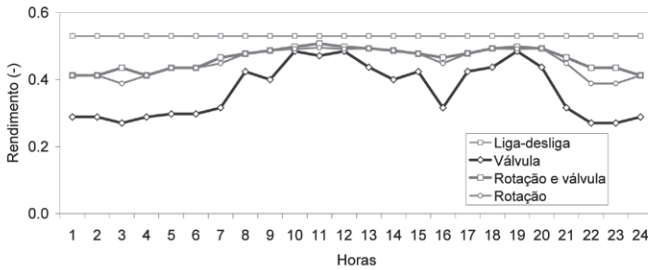



Figura 3.34	Variação do rendimento da bomba

Também avaliou-se o ganho de energia pelo índice Consumo Específico de Energia Normalizado (CEN), calculado por: CEN=kWh/(m^3 bombeado*Hman/100) (Tabela 3.15). Os valores apresentados são médios para o período de 24 horas, discretizados em valores horários. Para os intervalos de hora em hora o índice CEN foi calculado considerando a energia consumida na respectiva hora (kWh), o volume bombeado (m^3), e altura manométrica média (m). Os resultados são similares aos descritos quando se considera somente energia.

Na análise dos indicadores de consumo de energia, quando se compara a operação por diferentes métodos de controle da bomba, observa-se que há uma aparente contradição nos resultados, em relação ao índice CEN. Nota-se que, os métodos que consumiram menos energia foram os controles por rotação e rotação+válvula, o que foi devidamente apontado pelo índice CE. Entretanto, o índice CEN indica que o método mais eficiente foi o liga-desliga, embora tenha consumido mais energia.

Esses dados foram reorganizados na Tabela 3.16. Fazendo uma reavaliação desses resultados através dos dados dessa tabela, se observa que o sistema operou em diferentes alturas manométricas médias, sendo dois acima de 100mca e os outros dois abaixo desse valor. Como o índice CEN normaliza essas alturas manométricas para 100mca, as diferenças de eficiência devido à altura são minimizadas e o método liga-desliga é entendido como o melhor, por gastar menos energia para elevar cada m3 à 100mca.

Tabela 3.16 > Consumo de energia em diferentes tipos de controle

TIPO DE CONTROLE	CONSUMO (Kwh)	CEN (KWH/(m^3.m/100)	CE (Kwh.m^3)	H MÉDIO (m)
Liga-Desliga	111.2	0.51	0.66	127.5
Rotação	102.0	0.61	0.56	94.1
Rotação e válvula	101.5	0.59	0.56	95.0
Válvula	188.0	0.78	1.13	144.2

Essa interpretação dada pelo índice CEN estaria correta caso estivessem sendo analisados sistemas diferentes. Entretanto, quando se avalia o mesmo sistema operando segundo diferentes regras de operação, ou alguma melhoria técnica, não se deseja eliminar o efeito da modificação na altura manométrica, e o índice mais adequado para avaliação é o CE.

3.8.4 Experiência da Ufes sobre Perdas e Indicadores de Energia em Sistemas Prediais

Foi realizada a caracterização do consumo de água e energia em dois edifícios: um edifício convencional (Figura 3.35a) e um edifício dotado de reúso de águas cinza (Figura 3.35b). Ambos possuem hidrometração individual.

Esta pesquisa foi desenvolvida em duas etapas:

Figura 3.35 (a) Edificação convencional; (b) Edificação com reúso

- Caracterização do consumo de água e energia em um edifício construído de acordo com a norma 5626 da ABNT (convencional), no período de fevereiro a setembro de 2007;
- Caracterização do consumo de água e energia em um edifício dotado de reúso de águas cinza, no período de fevereiro a setembro de 2008.

O consumo energético das bombas de recalque foi medido por meio eletrônico com a instalação de um analisador de grandezas elétricas, modelo RE6000 Embrasul (Figura

3.36). Na edificação convencional o analisador foi instalado em junho de 2007. Na edificação dotada de reúso em março de 2008. As coletas de dados de energia são realizadas a cada 15 dias. A análise dos dados foi realizada com auxílio do *software* ANL6000 que acompanha o analisador.

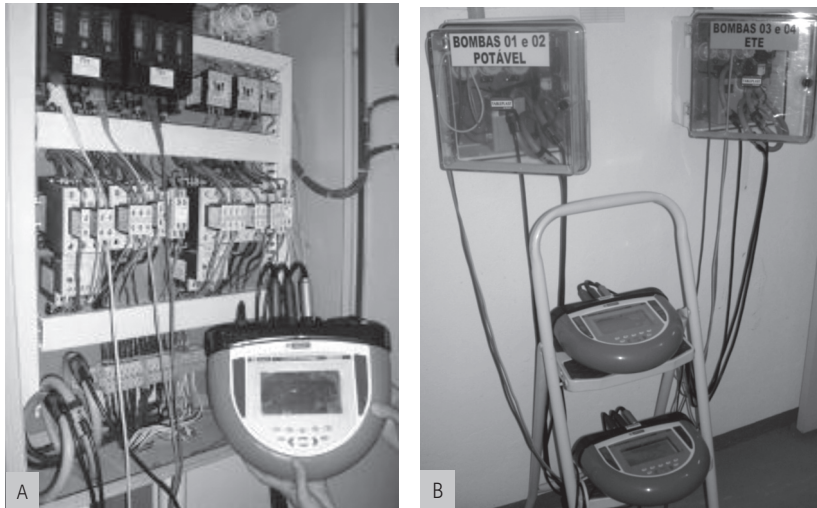



Figura 3.36 Analisador de energia instalado no painel de controle das bombas no ed. convencional e dotado de reúso respectivamente

O edifício convencional possui duas bombas modelo Dancor 15 cv trifásicas que são acionadas cerca de cinco vezes durante a semana e cerca de três vezes no final de semana, permanecendo ligada por um intervalo de 30 minutos a cada acionamento. Já o edifício dotado de reúso possui quatro motores da marca WEG com 3,7 (5,0)cv de potência, sendo duas para o recalque de água potável e duas para o recalque de água de reuso. Nas bombas que recalcam água potável são acionadas cerca de quatro vezes durante os dias da semana e de duas a três vezes nos finais de semana, permanecendo ligada durante cerca de 50 minutos por acionamento; enquanto as bombas de recalque de água de reúso são acionadas quatro vezes durante os dias da semana e três vezes nos finais de semana e permanecem ligadas cerca de 17 minutos por acionamento.

A instalação do analisador de energia possibilitou setorizar o consumo de energia elétrica nos edifícios facilitando a identificação das áreas de maior demanda. A Figura 3.37 apresenta, em termos energéticos, as porcentagens requeridas nos setores considerados da edificação.

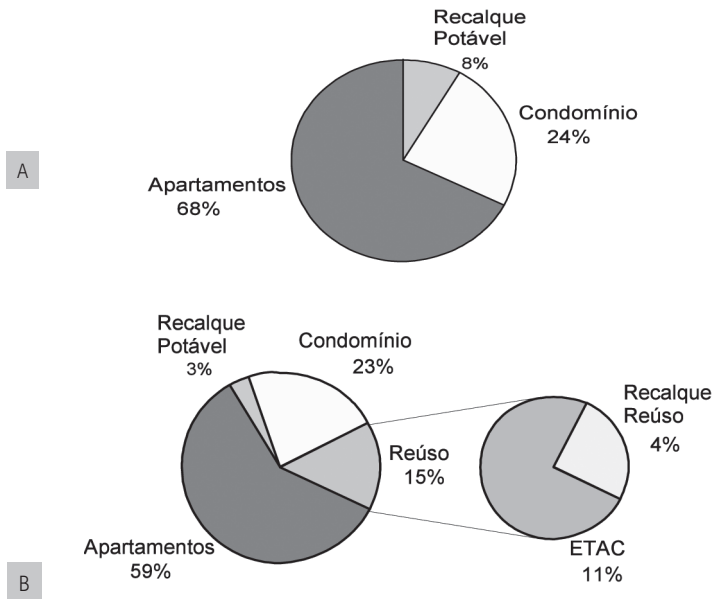



Figura 3.37 Setorização do consumo energético nas edificações: (a) no edifício convencional; (b) edifício dotado de reúso

O gasto energético das bombas de recalque é significativo no edifício convencional, perfazendo cerca de 8% do consumo total de energia da edificação, parcela que indica quanto o consumo de água representa na conta de energia (Figura 3.37). Em relação ao consumo apenas do condomínio, o consumo das bombas representa cerca de 25%, devendo ser salientado que a demanda de energia do condomínio é responsável por aproximadamente 24% do total. Já os apartamentos são os responsáveis por cerca de 68% do consumo total.

Por outro lado, o gasto energético das bombas de recalque do edifício dotado de reúso (consumo das bombas de água potável e de água de reúso), foi semelhante ao do edifício convencional, correspondendo cerca de 7% do consumo total de energia da edificação. Contudo, a redução de energia demandada pelas bombas de recalque nessa edificação pode ser associada à redução do consumo *per capita* de água. As bombas utilizadas na Etac (uma para recirculação de lodo e outra para o aerador) representaram um gasto significativo de energia, atingindo cerca de 11% do consumo total. Os apartamentos ficaram com a maior parcela do consumo, remontando a cerca de 59% do total.

Avaliando o consumo total de água dos apartamentos, juntamente com o consumo de energia das bombas de recalque, foi possível estabelecer uma relação entre a quan-

tidade de energia despendida (kWh) e o volume (m³) de água consumido. No edifício convencional foi encontrado um consumo médio diário de cerca de 20m³ de água e aproximadamente 28kWh de energia das bombas, o que resulta em um indicador médio de consumo de 1,40kWh.m³. Para o edifício com reúso observou-se um consumo médio de cerca de 13m³ de água e de 23kWh de energia bombas, resultando em um indicador de 0,88kWh.m³.

Referências bibliográficas

ABNT. NBR 5626 – Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

ALEGRE, H., BAPTISTA, J. M., CABRERA Jr., E., CUBILLO, F., DUARTE, P., HIRNER, W., MERKEL, W., PARENA, R. (2006). Performance indicators for water supply services. Manual of Best Practice Series, 2nd Edition, IWA Publishing, London, ISBN 1843390515 (289 pág.).

BAHIA, RODRIGUES, S., *et al. Eficiência Energética nos Sistemas de Saneamento*. IBAM/DUMA, Rio de Janeiro 2001. Reimpressão.

BOTELHO, CAMPOS, M.H.; RIBEIRO Jr., ANDRADE, G. *Instalações hidráulicas prediais:* usando tubos de PVC e PPR. 2 ed. rev. ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 2006. 344 p.

BRASIL, *Resolução ANEEL n. 456/2000*, Estabelece, de forma atualizada e consolidada, as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, FUPAI/EFFICIENTIA. *Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento*. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. 272 p.

DUARTE, P., ALEGRE, H., COVAS, D. I. C. (2008). *Avaliação do desempenho energético em sistemas de abastecimento*. VIII SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE SISTEMAS, Lisboa, Portugal (comunicação dos autores).

EUROPUMP AND HYDRAULIC INSTITUTE. *Variable Speed Pumping:* A guide to successful applications. United Kington: Elsevier Advanced Technology, 2004, 172 p.

GOMES, H.P.; GARCÍA, R.P.; REY, P.L.I. (Orgs.) *Abastecimento de água:* O estado da arte e técnicas avançadas. João Pessoa, PB: Ed. Universitária – UFPB, 2007. 386 p.

HELLER, L., PÁDUA, V.L.. *Abastecimento de água para consumo humano.* Editora UFMG, Belo Horizonte, 2006.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <http://www.ceunes.ufes.br/estacao/index2.asp?estacao=A612> Acesso em: 03 de setembro de 2007.

JOHNSON, J.D. *Variable-speed Drives Can Cut Pumping Costs*. The Chemical Engineering Guide to Pumps. McGraw Hill Publications Co., 1984. 325 p.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F.O.R. *Eficiência Energética na Arquitetura*, 2ª edição, revisada. São Paulo: ProLivros, 2004.

MARQUES, M.; HADDAD, J. MARTINS, A. R. S. - *Conservação de Energia* – Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações. Itajubá, MG: Fupai, p. 597, 2006.

MAYS, L. W. *Water Distribution Systems Handbook.* Tempe, Arizona, EUA: McGraw-Hill. 1999.

MACINTYRE, A.J. *Bombas e Instalações de Bombeamento.* Rio de Janeiro, RJ: livros Técnicos e Científicos ed., segunda edição revisada, 1997. 782 p.

NISKIER, J.; MACINTYRE, A.J. – *Instalações Elétricas*. Quarta Ed., Editora LTC, Rio de Janeiro, 2000

OLIVEIRA, A.; SILVEIRA, G.B.; BRAGA, J.M. *Diversidade Sazonal do Consumo de Energia Elétrica no Brasil.* Pesq. Plan. Econ., V.30, n.2, Agosto, 2000.

PROCEL, Eletrobrás, *Orientações Gerais para Conservação de Energia Elétrica em Prédios Públicos.* Primeira Ed. Rio de Janeiro. Abril, 2001.

PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR DE SANEAMENTO - PMSS. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento:* Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – *2006*. Brasília: SNSA, 232 p, 2007.

Nota

1 LEED *Leadership in Energy and Environmental Design (http://www.usgbc.org).*

4 Tecnologias de Conservação em Sistemas Públicos

Heber Pimentel Gomes, Peter Batista Cheung,
Benedito Cláudio da Silva, Saulo de Tarso Marques Bezerra

Neste capítulo são discutidos os fundamentos e as principais tecnologias envolvidas no diagnóstico hidroenergético de sistemas públicos de abastecimento de água. As ações estruturantes para a diminuição do consumo de água e energia são abordadas, envolvendo o controle de pressão nas redes distribuidoras, o controle ativo de vazamentos e a reabilitação de infraestrutura. As ações não estruturantes, alicerçadas nos principais programas brasileiros voltados à diminuição do consumo de energia e água em sistemas públicos de abastecimento de água, são abordadas. Finalmente, as ferramentas tecnológicas para melhoria de desempenho de sistemas públicos de abastecimento, desenvolvidas com base da rede temática 5 do edital Prosab 5, são apresentadas.

4.1 Diagnóstico hidroenergético de sistemas públicos

As tecnologias de conservação de água e energia em sistemas públicos de abastecimento vêm sendo desenvolvidas, com maior intensidade, nas duas últimas décadas, em decorrência do aumento da demanda e escassez destes dois insumos.

A disponibilidade hídrica para o setor de saneamento tem se agravado por conta da deterioração da qualidade da água bruta dos mananciais, localizados nas regiões mais próximas dos centros urbanos consumidores. Com o desenvolvimento econômico das regiões metropolitanas e a consequente exploração dos recursos ambientais, a disponibilidade hídrica, em termos de quantidade e qualidade, dos rios, dos reservatórios,

dos poços e dos demais mananciais, diminui ao longo do tempo. O desmatamento e a ocupação desordenada nas regiões periurbanas afetam suas características hidrológicas, aumentando o escoamento superficial e diminuindo a infiltração da água no solo, com o consequente aumento das enchentes e a diminuição das recargas dos aqüíferos. Por conta desses aspectos há o aumento da poluição da água dos mananciais mais próximos das cidades, o que onera, ainda mais, o seu tratamento nas ETAs das companhias de abastecimento urbano.

O aumento da demanda hídrica dos sistemas públicos, associado à diminuição da qualidade da água bruta disponível e ao aumento da distância dos mananciais aos centros consumidores, leva, indiscutivelmente, ao aumento significativo do custo operacional de captação, tratamento e distribuição da água potável. O tratamento da água nas ETAs será mais custoso, com a deterioração, cada vez maior, da qualidade da água bruta dos mananciais. No entanto, o que onera mais ainda o custo operacional é o custo energético do bombeamento, necessário para aduzir a água para os reservatórios de distribuição localizados nos centros urbanos.

A cidade de Caruaru, situada no estado de Pernambuco, vinha sendo abastecida, até o ano 2000, com água proveniente de mananciais localizados bem próximos à zona urbana. Entretanto, com o crescimento da demanda hídrica, o abastecimento da cidade passou a ser atendido por dois reservatórios, Prata e Jucazinho, que estão situados, respectivamente, a 35 e 90 quilômetros de distância da cidade. Vale ressaltar, ainda, que ambos os reservatórios estão posicionados em cotas topográficas centenas de metros inferiores à cota da cidade de Caruaru. Atualmente, o abastecimento de Caruaru demanda uma vazão contínua próxima a mil litros por segundo, para o atendimento de uma população de cerca de 300 mil habitantes. Em consequência das condições desfavoráveis de localização dos mananciais Prata e Jucazinho, em relação à cidade, a Companhia de Abastecimento de Água do Estado de Pernambuco (Compesa) paga uma conta de energia mensal de aproximadamente dois milhões e meio de reais, relativa à energia elétrica consumidas nas estações de bombeamento dos dois sistemas adutores da cidade.

4.1.1 Energia elétrica

O mundo passa, nos dias atuais, por uma crise de oferta de energia que tem gerado repercussões significativas na economia global. Há uma demanda crescente de energia derivada do aumento do consumo global, principalmente em países emergentes como China, Rússia, Índia, Brasil, México e África do Sul. O aumento do consumo de energia, qualquer que seja a fonte, tem provocado um grande aumento do custo desse insumo. O aumento do custo energético repercute diretamente em todos os segmentos da economia, principalmente nos alimentos, que dependem diretamente de combustíveis para os transportes e de fertilizantes derivados do petróleo. O aumento

do custo energético e, consequentemente, dos alimentos, tem provocado uma inflação "de demanda", que tem afetado, praticamente, todos os países.

A dependência energética do setor de abastecimento de água é significativa. De acordo com James *et al.* (2002) entre e 2 e 3 por cento da energia consumida no mundo é usada no bombeamento e tratamento de água para residências urbanas e indústrias; esse consumo poderia ser reduzido em 25% com o emprego de medidas de eficientização hidroenergéticas.

Os sistemas de bombeamento consomem perto de 20% da energia gasta pelos motores elétricos no mundo, sendo que 75% dos bombeamentos estão superdimensionados (EUROPUMP & HYDRAULIC INSTITUTE, 2004).

A maioria dos sistemas de bombeamento atualmente existentes no Brasil, responsáveis pelas elevatórias de água bruta, potável e residuárias, foi projetada e construída sem a preocupação com o custo da energia elétrica, já que este era fortemente subsidiado e não onerava muito o custo operacional das estações de bombeamento. Nos últimos dez anos a repercussão do custo da energia elétrica nos sistemas de saneamento no Brasil tem se acentuado significativamente e já constitui o segundo item de despesa da maioria das empresas prestadoras de serviço. Historicamente, o processo de definição das tarifas públicas de energia elétrica no Brasil sofreu influência da política macroeconômica: redução do déficit público e combate direto à inflação. Com frequência, demandas setoriais desconsideravam a evolução dos custos específicos que pudessem justificar os reajustes. Estas características levaram ao acúmulo de distorções nos preços relativos da energia e, em alguns casos, deram lugar ao aparecimento de subsídios cruzados entre serviços, classes de usuários e regiões. Com o advento do Plano Real, em 1995, e a privatização das empresas concessionárias de energia elétrica, houve uma mudança qualitativa em relação a esse processo. Questões relativas ao déficit público e à inflação passaram a ser tratadas no âmbito das políticas cambial, monetária e fiscal. Após 1997, a política de preços públicos passou a transferir para os consumidores os custos dos serviços prestados, para eliminar distorções entre as despesas e as receitas. O gráfico da figura 4.1 mostra a diminuição dos subsídios aplicados aos preços das tarifas de energia elétrica, praticados pelas concessionárias do estado de São Paulo, que caiu de 80%, em 1970, para 15% nos dias de hoje.

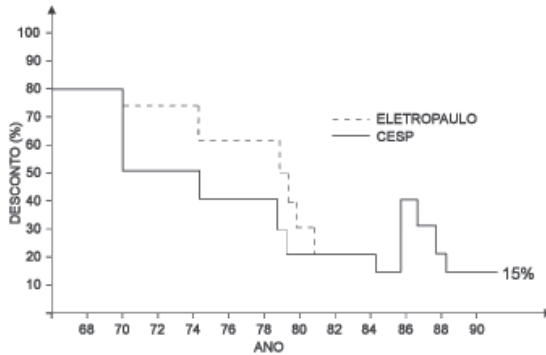
De acordo com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica para o Saneamento (PROCEL SANEAR, 2008) o consumo total de energia elétrica dos prestadores de serviços de água e esgotamento sanitário do Brasil equivalente a cerca de 10 bilhões de kWh.ano. Este consumo refere-se aos diversos usos nos processos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, com destaque para os equipamentos motobomba, que são responsáveis por 90% do consumo nestas instalações.

FONTE: CASSIANO FILHO & TSUTIYA (1992)

Figura 4.1 Subsídios aplicados às tarifas de energia elétrica para o estado de São Paulo

As despesas totais dos prestadores de serviços de saneamento com energia elétrica chegam a R$ 1,5 bilhão por ano, variando entre 6,5 a 23,8% das despesas totais, com média de 12,2% para os sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário de companhias estaduais de saneamento (ELETROBRÁS/PROCEL, 2005). Considerando que existe uma ineficiência energética entre 25% e 30%, estima-se que os gastos monetários com os desperdícios de energia elétrica no setor de saneamento são da ordem de 400 milhões de reais por ano.

Segundo estudos técnicos realizados pelo Ministério das Cidades (PROCEL SANEAR, 2005), no Brasil, para se alcançar a universalização dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no prazo de 20 anos, atender a toda população que hoje não tem acesso aos serviços e absorver o crescimento populacional neste período, seriam necessários investimentos da ordem de R$ 178 bilhões. Isso significa o equivalente ao investimento de 0,45% do Produto Interno Bruto ao ano, para uma taxa de crescimento anual esperada de 4%. Sabe-se que a universalização dos serviços de saneamento implicará na utilização de novos recursos. Dentre estes, a energia elétrica para os processos é observada pelo setor energético com preocupação.

Para o Brasil, é imperativa a necessidade de redução da energia consumida no setor de saneamento, devido à limitação, a curto e médio prazo, do aumento da disponibilidade energética. A crise de suprimento de energia elétrica de 2001 impulsionou a criação de políticas de conservação e uso racional de energia elétrica, refletindo também nos equipamentos utilizados no setor de saneamento (GOMES, 2005).

A tabela 4.1 mostra o consumo específico de energia elétrica para as empresas estaduais de distribuição de água, para o ano de 2006, de acordo com o SNIS (2007), cujo valor médio é de 0,68 $kWh.m^3$.

Tabela 4.1> Consumo específico de energia elétrica "CE", em kWh.m³, dos prestadores de serviço de distribuição de água de abrangência regional

NORTE		**SUDESTE**	
Caer/RR	0,33	Cedae/RJ	0,50
Caerd/RO		Cesan/ES	0,50
Caesa/AP		Copasa/MG	0,82
Cosama/AM	0,34	Sabesp/SP	0,64
Cosanpa/PA	1,04	Totalizações para a região	0,62
Deas/AC	0,58	**SUL**	
Saneatins/TO	0,60	Casan/SC	0,59
Totalizações para a região	0,79	Corsan/RS	
NORDESTE		Sanepar/PR	0,83
Agepisa/PI	0,61	Totalizações para a região	0,77
Caema/MA	0,67	**CENTRO-OESTE**	
Caern/RN	0,64	Caesb/DF	0,85
Cagece/CE	0,51	Saneago/GO	0,76
Cagepa/PB	0,86	Sanesul/MS	
Casal/AL	1,06	Totalizações para a região	0,80
Compesa/PE	0,73		
Deso/SE	1,24		
Embasa/BA	0,82		
Totalizações para a região	0,75	Média1	0,74

1 MÉDIA PONDERADA DO ÍNDICE CE LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO AS POPULAÇÕES ATENDIDAS POR CADA SISTEMA ESTADUAL
FONTE: SNIS (2007) – DADOS REFERENTES A 2006

4.1.2 Perdas de água

A problemática, no Brasil, derivada das perdas acentuadas de água nos sistemas de abastecimento não são menos preocupantes. A figura 4.2 mostra algumas imagens que retratam a deterioração dos sistemas públicos de abastecimento de água e que são responsáveis pelo aumento significativo de perdas de água ao longo dos sistemas, desde a captação até o hidrante na tomada d'água do consumidor. Pode-se observar nesta figura, de cima para baixo, no sentido dos ponteiros dos relógios: torneira aberta desperdiçando água; hidrantes antigos e defeituosos que não medem corretamente a vazão consumida; pressões elevadas na rede aumentando os vazamentos; e tubulações antigas com limitada capacidade de transporte.

A tabela 4.2 apresenta os índices perdas por faturamento (IPf) na distribuição (IPd), por ligação por dia (IPL) e por extensão de rede (IPe), para as empresas estaduais de distribuição de água do Brasil, segundo dados do SNIS, relativo a 2006. A tabela 4.3

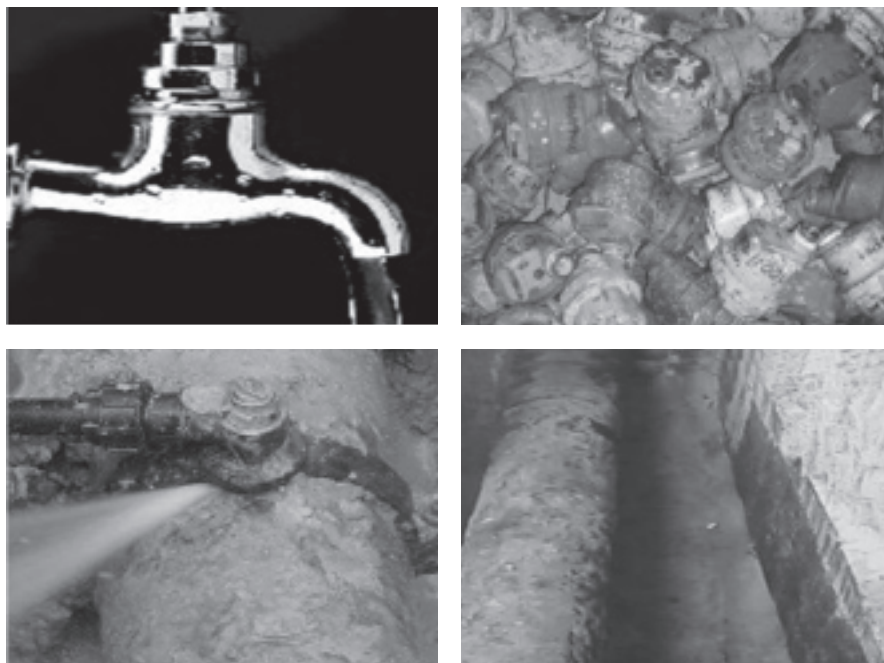



Figura 4.2 Exemplos de estruturas deficientes que resultam em elevadas perdas de água em sistemas públicos de distribuição

mostra os índices de perdas de faturamento médio dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2006, segundo abrangência por região geográfica. Pela análise dos dados da tabela 4.2 observa-se que o valor médio das perdas por faturamento das 26 operadoras regionais é de 39,5%, considerado muito elevado, e que apenas dois das 26 companhias apresentam índices de perdas por faturamento inferiores a 25%. O menor índice de perdas de faturamento do Brasil é da Caesb/DF, com 23,7%, seguido da Saneatins/TO, com 23,8%. Observa-se, também, que 10 prestadores apresentaram índices superiores a 50%: Agepisa/PI, Casal/AL, Caema/MA, Compesa/PE, Caer/RR, Caerd/RO, Caesa/AP, Cosama/AM, Deas/AC e Cedae/RJ. Conforme pode ser verificado nos dados da tabela 4.3, pelos dados do SNIS de 2006, o índice de perda de faturamento médio para todo o Brasil, considerando todas as operadoras de abrangência regional, microrregional e local, é de 39,8%. Ainda, de acordo com dados do SNIS de 2006, de 2003 a 2006, o índice médio nacional das perdas de faturamento tem-se situado no patamar de 40% (39,4% em 2003; 40,0% em 2004; 39,0% em 2005; e 39,8% em 2006).

Tabela 4.2 > Índices de perdas dos prestadores de serviços regionais do Brasil

PRESTADORA DE SERVIÇO	IP_F (%)	IP_D (%)	IP_L L/LIGAÇÃO/DIA	IPE L/KM/DIA
Região Norte	**53,4**	**53,2**	**649,4**	**38,9**
Caer/RR	57,1	51,0	668,7	34,4
Caerd/RD	68,7	68,7	1.367,8	48,2
Caesa/AP	72,0	72,0	2.057,5	150,6
Cosama/AM	83,1	83,2	2.088,9	111,6
Cosanpa/PA	46,0	46,1	495,0	41,0
Deas/AC	60,6	60,6	822,3	32,5
Saneatins/TO	23,8	26,4	171,3	9,3
Região Nordeste	**45,1**	**49,3**	**470,5**	**44,0**
Agespisa/PI	53,9	39,6	374,5	39,3
Caema/MA	67,6	57,2	822,2	62,2
Caern/RN	29,0	48,2	514,4	49,1
Cagece/CE	33,7	36,4	271,7	30,8
Cagepa/PB	39,6	49,7	409,4	58,2
Casal/AL	52,8	57,1	598,4	54,7
Compesa/PE	59,7	67,4	770,3	85,5
Deso/PE	40,5	47,4	436,1	30,9
Embasa/BA	33,0	38,0	317,9	24,4
Região Sudeste	**39,8**	**44,0**	**621,9**	**55,1**
Cedae/RJ	54,6	54,6	1.829,0	148,1
Cesan/ES	32,5	41,4	618,8	45,2
Copasa/MG	30,7	34,6	264,2	20,8
Sabesp/SP	33,8	40,4	511,7	50,5
Região Sul	**26,6**	**43,0**	**346,7**	**21,0**
Casan/SC	31,9	45,4	391,9	22,0
Corsan/RS	26,1	49,7	438,7	29,1
Sanepar/PR	25,2	36,6	269,7	15,8
Centro-Oeste	32,9	36,4	314,4	19,7
Caesb/DF	23,7	30,2	403,7	26,9
Saneago/GO	38,1	38,1	273,3	16,9
Sanesul/MT	36,2	44,5	345,7	20,6
Média Total	39,5	45,1	508,4	40,4

FONTE: ADAPTADO DE SNIS (2007) – DADOS REFERENTES A 2006

Tabela 4.3 > Índice de perdas de faturamento dos prestadores de serviços, segundo abrangência e região geográfica

REGIÕES	ABRANGÊNCIA			BRASIL
	Regional	**Microrregional**	**Local**	
Norte	53,4		63,3	58,1
Nordeste	45,1	19,5	34,4	44,1
Sudeste	39,8	42,6	37,9	39,3
Sul	26,6	13,9	38,1	29,7
Centro-Oeste	32,9	31,7	41,8	36
Brasil	39,5	38,6	40,7	39,8

FONTE: SNIS (2007). DADOS REFERENTE A 2006

- Prestador de serviço de abrangência regional: entidade legalmente constituída para administrar serviços e operar sistemas, atendendo a vários municípios com sistemas isolados ou integrados (companhias estaduais).
- Prestador de serviço de abrangência microrregional: entidade legalmente constituída para administrar serviços e operar sistemas, atendendo a mais de um município, com sistemas isolados ou integrados normalmente adjacentes e agrupados em uma pequena quantidade (consórcios intermunicipais).
- Prestador de serviço de abrangência local: entidade legalmente constituída para administrar serviços e operar sistemas no município em que está sediada. Em caráter não oficial atendem a frações de municípios adjacentes (serviços municipais públicos ou privados).

A figura 4.3 mostra os índices de perdas de faturamento e de micromedição para as operadoras regionais do Brasil (SNIS, 2007) – dados de 2005. Observa-se uma relação inversa entre estes dois índices, evidenciando os reflexos positivos da hidrometração sobre os índices de perdas de faturamento.

A tabela 4.4 apresenta os índices de perdas em alguns países para o ano de 1999, segundo a revista BIO (2001).

Tabela 4.4 > Índice de perdas em alguns países no ano de 1999

PAÍS	ÍNDICE DE PERDA (%)
Canadá	14,0
Japão (Tóquio)	8,4
Argentina (Buenos Aires)	36,0
Inglaterra	17,3
Chile	19,0
Colômbia	39,0
Peru	36,0

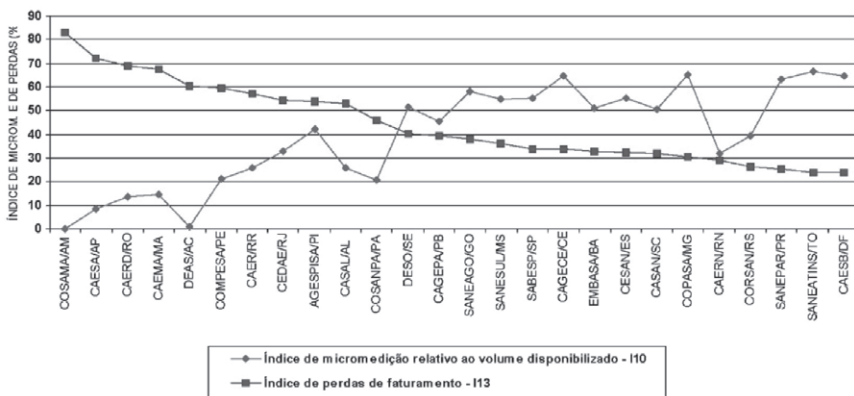
FONTE: BIO REVISTA BRASILEIRA DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE, N. 17, 2001

FONTE: SNIS (2007). DADOS REFERENTES AO ANO DE 2005.

Figura 4.3 Índice de micromedição e perdas de faturamento de serviços de saneamento

As perdas de água possuem relação direta com o desperdício de energia elétrica. Conforme observado nos dados da tabela 4.1, para as empresas estaduais de abastecimento de água do Brasil é necessário, em média, 0,68 kWh para produzir 1m^3 de água potável.

4.2 Ações estruturantes para a diminuição do consumo de água e energia

4.2.1 Combate ao desperdício de água

4.2.1.1 Perdas físicas

As perdas físicas ou reais não podem ser eliminadas totalmente dos sistemas de abastecimento de água. Sempre haverá um nível mínimo de perdas físicas, no qual será

economicamente inviável tentar diminuí-lo. Entretanto o volume de perdas físicas pode ser reduzido, consideravelmente, mediante a adoção de medidas estruturantes, que podem ser sintetizadas em três tipos de intervenções:

a) controle de pressão;
b) controle ativo de vazamentos;
c) reabilitação de infraestrutura.

a) Controle de pressão

Pode-se assegurar que, de uma maneira geral, a redução de pressão na rede hidráulica para patamares piezométricos aceitáveis é a medida mais eficaz para a redução das perdas físicas de água. Na maioria das empresas de saneamento o controle é feito por meio de válvulas, com base na experiência dos operadores. O controle da pressão proporciona: a economia de recursos de água e custos associados; a diminuição da freqüência de ruptura de tubulações e os consequentes danos que têm reparos onerosos, minimizando também as interrupções de fornecimento e os perigos causados ao público usuário de ruas e estradas; um serviço com pressões mais estabilizadas ao consumidor, baixando a ocorrência de danos às instalações internas dos usuários; e a redução dos consumos relacionados com a pressão da rede.

O comportamento hidráulico da água que vaza através de um orifício em uma tubulação pressurizada é similar ao escoamento d'água através de um bocal, e pode ser representada pela equação 4.1:

$$q = C_d h^x \qquad \text{Equação 4.1}$$

em que,

q = vazão do vazamento através do orifício

C_d = coeficiente de descarga, que depende da forma e tamanho da seção transversal do orifício

h = pressão da água

x = expoente de descarga

O expoente de descarga depende do regime de fluxo d'água através do orifício do material da tubulação. Para escoamento turbulento, que ocorre normalmente na prática nas redes de distribuição, e para tubulação metálica o valor de x é igual a 0,5; para escoamento laminar x é igual a 1. Para tubos de plástico (PVC, PEAD), nos quais as seções transversais dos orifícios aumentam com a pressão o valor de x pode ser considerado igual a 1,5.

Pela equação 4.1, a relação entre as vazões q_1 e q_2 e as correspondentes pressões h_1 e h_2 será:

$$\frac{q_1}{q_2} = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^x \qquad \text{Equação 4.2}$$

Com base na expressão anterior, considere-se o exemplo de um setor de uma rede pressurizada, com tubulações de PVC (x = 1,5), onde existe uma perda física (q_1) da ordem de 15 L.s e a pressão média de serviço (h_1) de, aproximadamente, 40 mca. Ao baixar-se esta pressão para 20 mca (h_2), a vazão (q_2) correspondente à perda física cairá para 10,73 L.s, que corresponde a uma diminuição de 28,5%. Caso as tubulações fossem metálicas (x = 0,5) a diminuição da perda seria de 10,6%.

A gestão das pressões em um sistema de distribuição de água, buscando evitar valores piezométricos extremos (pressões elevadas ou muito baixas) pode ser realizado mediante três importantes medidas:

- setorização da rede em patamares de pressão de acordo a sua topologia;
- implantação de válvulas redutoras de pressão;
- utilização de bombas com velocidade de rotação variável.

Setorização: A primeira medida a ser tomada, com vistas à gestão das pressões, corresponde à separação da rede em setores de menor dimensão, que possam ser monitorados adequadamente. Os setores formarão as zonas de monitoramento e controle (ZMCs), com fronteiras bem delimitadas, onde se controlam todas as entradas e saídas de vazão. Recomenda-se que as ZMCs tenham de 500 a 5.000 ligações e até 25 km de rede. A figura 4.4 mostra o detalhamento de uma rede repartida em zonas de monitoramento e controle.

A avaliação das perdas nas ZMCs pode ser efetuada por meio de dois métodos: o *método do balanço hídrico* e o *método das vazões mínimas noturnas*. No *método do balanço hídrico* o volume de perdas (reais mais aparentes) é estimado pela diferença entre o volume aduzido e o consumido durante um determinado período de tempo, que normalmente se considera de uma semana ou um mês. O *método das vazões mínimas noturnas* se baseia na análise detalhada das vazões durante o período noturno (de menor consumo, das 2h às 4h), durante o qual uma parte muito significativa do consumo (70%–90%) se deve a perdas reais no sistema. Este método permite avaliar a evolução das vazões noturnas e identificar vazamentos/rupturas súbitas pelo aumento das vazões no periodo noturno. A figura 4.5 mostra um exemplo da análise das vazões mínimas noturnas segundo a metodologia apresentada no *Report F Using Night Flow Data* do WRC (1994).

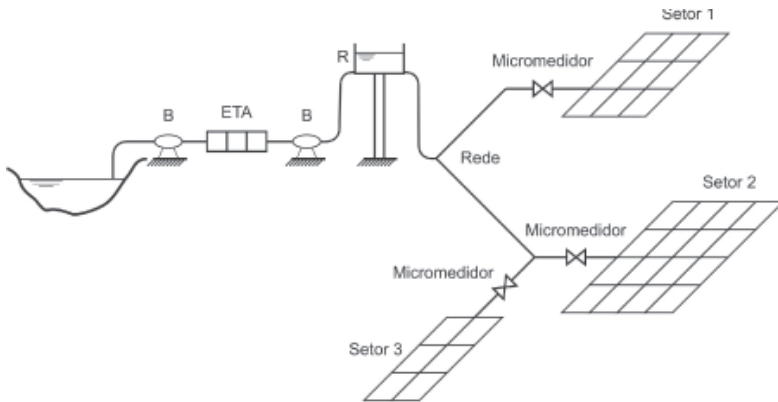



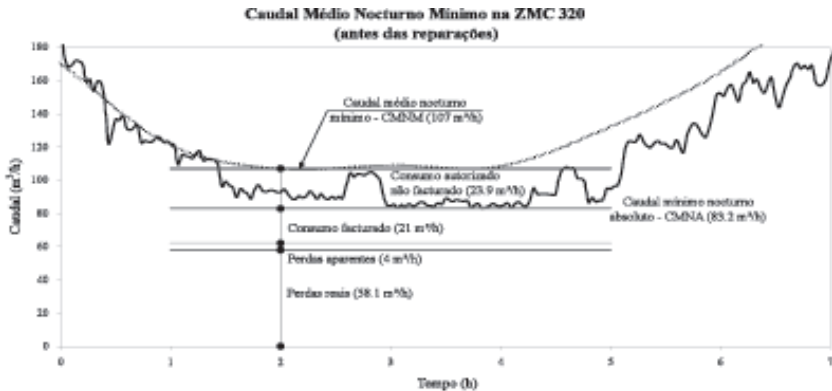
Figura 4.4 | Medição por zona > setorização e monitorização da rede

FONTE: JACOB (2006) *APUD* COVAS & RAMOS (2007)

Figura 4.5 | Análise de vazões mínimas noturnas

Válvulas redutoras de pressão: Com o objetivo de melhorar o desempenho hidráulico do sistema, as válvulas de controle (redutoras de pressão) estão sendo amplamente utilizadas. Estas podem ser controladas mecanicamente ou eletronicamente, de modo a funcionarem, não apenas para um único valor de pressão, mas para diversos patamares de pressão, permitindo, assim, uma gestão mais eficiente dos níveis de serviço e um melhor desempenho hidráulico do sistema.

Annecchini *et al.* (2007) desenvolveram um importante trabalho de redução de perdas físicas em setores controlados por válvulas redutoras de pressão (VRP), instaladas nos municípios da Região Metropolitana da Grande Vitória (ES). O trabalho se constituiu

na análise de 33 setores nos quais foram instalados VRP, macromedidores, controladores e acessórios; realizada a execução de obras e montagens, pesquisa e reparo de vazamentos, comissionamento e pré-operação dos sistemas; atualização cadastral e modelagem matemática dos setores. Com a implantação do programa houve uma recuperação de 89,96 L.s da água disponibilizada, representando uma redução de vazão média de 28% para cada setor, sendo que esta redução variou de 14% a 55%.

Utilização de bombas com velocidade de rotação variável: As bombas com velocidade de rotação variável com o emprego de conversores de frequência proporcionam reduções consideráveis nas pressões da rede. O conversor de frequência (também conhecido como inversor de frequência) é um equipamento eletrônico que proporciona a variação da rotação do motor elétrico e, consequentemente, da rotação do eixo e do rotor da bomba, acarretando alteração na pressão impulsionada pelo conjunto moto-bomba. Nas estações elevatórias com bombas com velocidade de rotação fixa, quando a vazão requerida ao sistema de bombeamento é diminuída, em decorrência da diminuição da demanda de água da rede de abastecimento, a pressão impulsionada à rede sobe para valores acima das médias aceitáveis; consequentemente as vazões dos vazamentos nos orifícios e nas juntas das tubulações aumentam consideravelmente, produzindo aumento de perdas físicas nas conduções. Posteriormente serão apresentados mais detalhes sobre conversores de frequência.

b) Controle ativo de vazamentos

As perdas físicas ou reais, derivadas de vazamentos nas tubulações e conexões, podem ser classificadas em fugas e rupturas: as fugas correspondem à água perdida continuamente, de forma não detectada, devido à presença de orifícios nas tubulações, à falta de estanqueidade nas juntas, nas válvulas e em outros acessórios; nas rupturas os vazamentos são bruscos e acentuados, provocados por acidentes súbitos em tubulações e acessórios devido a sobrepressões da água, sobrecargas excessivas, defeitos estruturais, assentamentos diferencias, etc.

De acordo com Alegre *et al.* (2005) o controle ativo de perdas físicas (rupturas e fugas) é uma estratégia de controle de perdas, de natureza periódica ou contínua, pela qual se procede ao monitoramento da rede, permitindo a detecção e a reparação de eventuais fugas e rupturas não reportadas. No controle ativo há um gerenciamento permanente, ao contrário do controle pasivo, no qual as reparações dos vazamentos são realizadas apenas quando estes se tornam visíveis.

Um controle ativo de perdas físicas se dá, normalmente, mediante a setorização e o monitoramento da rede (conforme já descrito neste item) e a localização e reparação dos vazamentos detectados.

O procedimento mais empregado para o controle ativo de perdas físicas é a pesquisa de vazamentos não visíveis por meio de métodos acústicos. Estes consistem na utilização de aparelhos eletrônicos que permitem a escuta de determinados ruídos, que podem ser associados a vazamentos não visíveis existentes nas tubulações.

Geofone eletrônico: é um equipamento acústico capaz de localizar vazamentos em redes pressurizadas de distribuição de água, por meio da detecção de vibrações proporcionadas pelo movimento da água fora da tubulação, no seu escoamento através das partículas do solo. O equipamento capta ruídos situados, normalmente, entre as frequências de 100 Hz e 2.700 Hz. A escuta por meio do geofone é recomendada para pressões da água na tubulação superiores a 15 mca.

O geofone eletrônico é composto de um amplificador, que amplia os sinais captados pelos sensores, permitindo escutar o ruído do vazamento; medidor de nível de som; filtros para eliminar os ruídos indesejáveis do meio ambiente e selecionam as faixas de frequências típicas dos sons do vazamento; sensor ou transdutor de alta sensibilidade; e fones de ouvido para o operador escutar o ruído de vazamento (ver figura 4.6).

Figura 4.6 Geofone eletrônico

Há também o geofone mecânico, menos sensível que o eletrônico, sem filtro de ruídos, que utiliza o princípio da estetoscopia na detecção de vazamentos.

Hastes de escuta e de perfuração: haste de escuta é um equipamento dotado de um amplificador acoplado a uma barra metálica, que é utilizado para auxiliar o geofone mecânico ou eletrônico na busca de vazamentos no pé do cavalete, em ramais, válvulas, ventosas, hidrantes, torneiras e demais peças especiais e controle (ver figura 4.7). Auxilia também na detecção de ligações clandestinas de água. Possui diafragma de alta sensi-

FONTE: JACOB (2006) *APUD* COVAS & RAMOS (2007)

Figura 4.7 Haste de escuta

bilidade para percepção de ruídos de vazamentos não visíveis e é, geralmente, fornecido no comprimento de 1 m e 1,5 m.

Existe também a haste de escuta eletrônica, com haste metálica para ser acoplada ao equipamento, que, ao ser colocada em contato com um cavalete ou registro, permite transmitir o ruído do vazamento ao amplificador interno. Possui *display* com indicação da intensidade do ruído; é totalmente portátil, com bateria interna e com fone de ouvido, para evitar interferências de ruídos externos.

A haste de perfuração é um dispositivo composto de uma barra metálica e uma empunhadura de borracha para uso manual, que é utilizado para confirmar o local com suspeita de vazamento não visível. Possui capacidade para perfurar pisos de cimento e asfalto e é fornecido nas opções de comprimento de 1 m e 1,5 m.

Equipamento de correlação sonora: uma forma mais precisa, embora bem mais custosa, para a detecção de vazamentos não visíveis, em determinados trechos de tubulações de redes pressurizadas, é pelo emprego de equipamento de correlação sonora, também conhecido como correlacionador de ruído. Ele é empregado para detectar vazamentos em um trecho de tubulação limitado por dois pontos de sondagem, que são, normalmente, peças metálicas de controle, como válvulas, registros, hidrantes e ramais prediais. O equipamento é composto por dois sensores-transmissores, posicionados nas peças de controle das duas extremidades do trecho a ser analisado, amplificadores de ruído e uma unidade receptora de processamento (ver figura 4.8).

A função do equipamento é localizar a posição precisa do vazamento entre as duas extremidades do trecho a ser pesquisado.

O princípio de funcionamento do processo de detecção do vazamento se baseia no fato de as ondas sonoras proporcionadas pelo vazamento se propagarem nos dois sentidos da tubulação, conforme mostrado na figura 4.8. A correlação entre o ruído e a localização do vazamento é obtida pela diferença de tempo em que este ruído leva para atingir cada um dos sensores.

A posição do vazamento x é determinada em função da distância L entre os dois sensores, da velocidade de propagação do som proporcionada pelo ruído v e do cálculo da diferença de tempos de chegada de duas frequências iguais Δt.

Assim,

$x = (L - v\,\Delta t)$ Equação 2.2

Tardelli Filho (2004) sintetiza na figura 4.9 as principais ações para controle e redução de perdas reais.

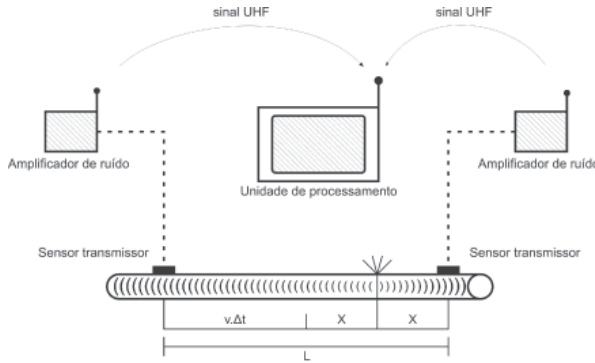



Figura 4.8 Esquema de medição por correlação acústica

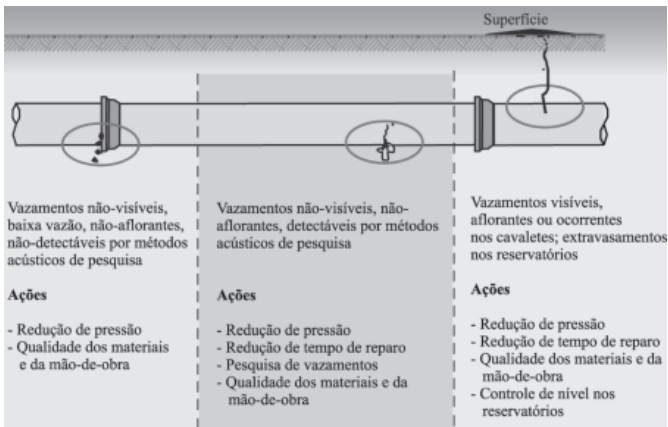



Figura 4.9 Síntese das ações para o controle e redução de perdas reais

c) Reabilitação de infraestrutura

A grande maioria dos sistemas públicos de abastecimento de água existentes no Brasil e no mundo foi projetada e construída há várias décadas. Muitas das tubulações, com

vida útil de 30 ou 40 anos, estão funcionando há mais de 50, 60 ou até 100 anos. Muitos dos tubos de determinados materiais que foram empregados em redes antigas, e que ainda se encontram em funcionamento, nem são mais fabricados, como é o caso dos tubos de cimento amianto. É natural que exista o desgaste dessas tubulações e conexões antigas, conforme pode ser observado nas Figuras 4.2 e 4.10. As corrosões em tubulações metálicas deterioram demasiadamente as paredes dos tubos, provocando orifícios acentuados que produzem grandes vazamentos.

A reabilitação, ou renovação de redes, além do aspecto positivo de diminuição das perdas físicas e da diminuição de rupturas nas tubulações, produz outros benefícios: a redução do custo de manutenção, a eliminação dos ramais de chumbo e a substituição de tubos de cimento amianto que são danosos à saúde humana.

A Environmental Protection Agency (EPA, 1997) indicou que o montante para a reabilitação da infra-estrutura dos sistemas de abastecimento de água dos EUA, nos 20 anos subsequentes, seria de 138 bilhões de dólares. No Reino Unido o índice anual de reabilitação de redes gira em torno de 1% (BALMASEDA & CABRERA, 2001), enquanto na Alemanha, segundo Hirner (1990), este índice chega a 1,2%. Na cidade de Lisboa, segundo Franco (2007), desde o ano de 2002 a Empresa Portuguesa das Águas Livres (Epal) implantou um programa de reabilitação e renovação da rede de abastecimento, tendo substituído mais de 320 quilômetros de tubulações, representando um investimento de 58 milhões de euros.

No Brasil, de maneira geral, as questões referentes à reabilitação e renovação das tubulações das redes hidráulicas não é prioritária. As trocas das tubulações deterioradas envolvem custos muito elevados e as empresas de saneamento, devido a aspectos de ordem política, financeira e de gestão, vão postergando as medidas de reabilitação.

4.2.2 Perdas aparentes

Em um sistema de abastecimento de água, geralmente, a principal medida de combate às perdas comerciais compreende as intervenções no seu parque de micromedidores. A figura 4.3, apresentada neste capítulo, mostra a relação entre o índice de micromedição e as perdas de faturamento de serviços de saneamento nas empresas estaduais do Brasil. A figura mostra claramente que o índice de perda por faturamento, que compreende as perdas aparentes ou comerciais, diminui, de forma acentuada, com o aumento do índice de micromedição.

No Brasil, são raras as cidades cujo abastecimento urbano é cem por cento micromedido. Nas áreas urbanas onde não há micromedição, por incapacidade de investimento da empresa ou por qualquer outra razão, o índice de perda comercial é sempre considerável. Por isso, a primeira ação, necessária para aumentar diminuir as perdas co-

merciais, compreende a implantação de micromedidores ou hidrômetros em 100% das ligações de água. Em segundo lugar, deve-se sempre renovar o parque de medidores, considerando que a vida útil destes equipamentos é de no máximo cinco anos.

Nem sempre as companhias brasileiras de distribuição de água priorizam a manutenção do seu parque de micromedidores, com a renovação permanente dos equipamentos defeituosos. Deve-se considerar que a qualidade do hidrômetro é, geralmente, inversamente proporcional ao seu custo.

A submedição dos hidrômetros é um das principais causas de perdas comerciais para as companhias de abastecimento do Brasil, devido à existência de caixas d'água para reservar água na grande maioria dos imóveis domiciliares. O "efeito caixa d'água" faz com que as vazões que passam pelo hidrômetro sejam menores do que as ocorrentes no ponto de consumo interno da residência, devido ao amortecimento proporcionado pelo volume da caixa d'água. Sendo menores as vazões, elas geralmente se situam nas faixas inferiores da curva de precisão do hidrômetro, onde têm erros (negativos) muito mais significativos (TARDELLI FILHO, 2004).

As perdas comerciais, por ineficiência do parque de medidores, podem ser controladas mediante campanhas de substituição periódica de hidrômetros, com o correto dimensionamento dos equipamentos, de forma a medir adequadamente a magnitude das vazões consumidas, e com a implantação de processos de leituras eletrônicas das medições dos equipamentos de medição.

Deve-se priorizar o combate às fraudes, derivadas de ligações clandestinas de água, mediante a adoção de inspeção periódica, de campanhas de conscientização da população e de penalidades aos infratores.

4.2.2.1 Diminuição do consumo de energia

Normalmente os desperdícios de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário são decorrentes de fatores como:

- procedimentos operacionais inadequados;
- desperdício de água;
- mau dimensionamento dos sistemas;
- idade avançada dos equipamentos/das instalações;
- tecnologias mal utilizadas;
- erros de concepção dos projetos;
- manutenções precárias;
- falta de ajuste dos projetos originais.

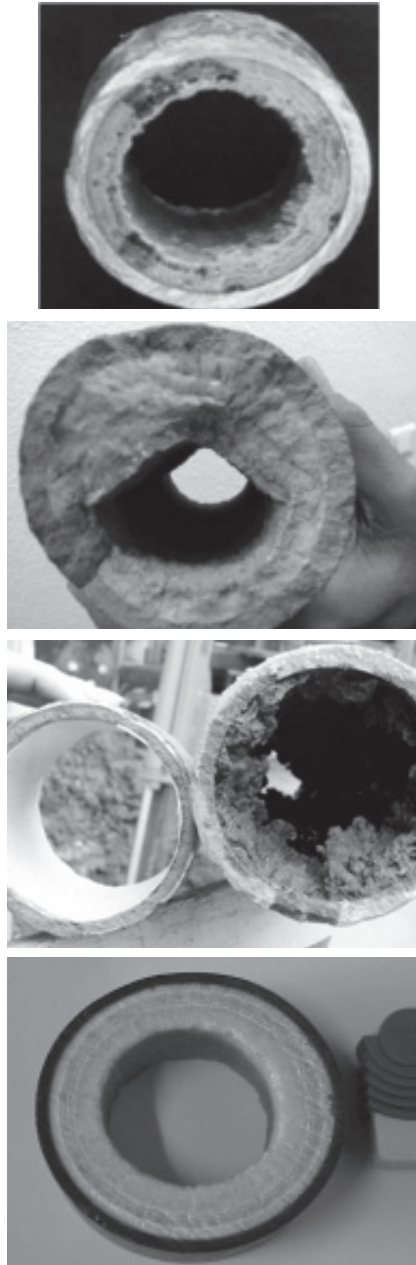



Figura 4.10 Exemplos de ineficiência energética com elevadas perdas de carga hidráulica no transporte de água em tubulações de redes de abastecimento

Vale destacar que os fatores apontados anteriormente são decorrentes de uma deficiência de gestão dos sistemas de abastecimento. No Brasil, salvo pouquíssimas exceções, as companhias de saneamento priorizam seus investimentos em obras civis e expansões de sistemas, desprezando as ações otimizadas de manutenção e operação das redes de abastecimento, de esgotamento sanitário e estações elevatórias de água e esgoto.

A figura 4.10 mostra algumas fotografias que retratam a deterioração das tubulações de distribuição de água, nas quais as seções de escoamento estão diminuídas em virtude de incrustações de materiais nas paredes dos tubos, prejudicando acentuadamente a capacidade de transporte destas conduções. Estas incrustações, e consequentemente, a diminuição da seção útil de escoamento, aumentam as perdas de carga ou de energia ao longo dos condutos.

As ações operacionais para a redução de custos de energia elétrica podem ser divididas em:

a) Ajuste de equipamentos:

- correção do fator de potência
- alteração da tensão de alimentação

b) Diminuição da potência dos equipamentos:

- melhoria no rendimento do conjunto moto-bomba
- redução na altura manométrica
- redução no volume de água demandado
- Controle operacional:
- alteração no sistema de bombeamento-reservação
- utilização de bombas de velocidade variável
- alteração nos procedimentos operacionais de ETAs

a) Ajuste de equipamentos

A primeira e mais eficaz medida a ser implementada nos ajuste dos conjuntos moto-bomba nas estações elevatórias de água e esgoto é a correção do fator de potência. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) determina que o fator de potência deve ser mantido o mais próximo possível da unidade; porém, permite um valor mínimo de 0,92, indutivo ou capacitivo (conforme Art. 64 da Resolução 456 de 29 de novembro de 2000).

Banco de capacitores: Uma forma econômica e racional de obter a energia reativa necessária para a operação dos equipamentos é a instalação de bancos de capacitores próximos a esses equipamentos. Os capacitores são equipamentos capazes de armazenar a energia reativa e fornecer aos equipamentos essa energia necessária ao seu funcionamento. Com os capacitores funcionando como fontes de reativo, a circulação

dessa energia fica limitada aos pontos onde ela é efetivamente necessária, reduzindo perdas, melhorando condições operacionais e liberando capacidade em transformadores e condutores para atendimento a novas cargas, tanto nas instalações consumidoras quanto nos sistemas elétricos das concessionárias.

- Ações para a correção do baixo fator de potência:
- dimensionar corretamente motores e equipamentos;
- utilizar e operar convenientemente os equipamentos;
- instalar capacitores onde for necessário.
- Benefícios da correção do fator de potência:
- diminuição nas variações de tensão;
- diminuição de aquecimento nos condutores;
- redução das perdas de energia;
- melhor aproveitamento da capacidade de transformadores;
- aumento da vida útil dos equipamentos;
- utilização racional da energia consumida;
- desaparecimento do consumo de energia reativa excedente, que é cobrado na conta.

Tensão de alimentação: Com relação à tensão de alimentação, a tarifa de energia elétrica é mais barata quando a entrada de energia elétrica se dá em alta tensão, em comparação com a entrada em média e baixa tensão. Assim, pode-se efetuar um estudo de análise técnica e econômica para verificar a viabilidade de implantação de transformadores na instalação de bombeamento visando à redução do custo da energia elétrica consumida.

b) Diminuição da potência dos equipamentos

Melhoria no rendimento dos conjuntos moto-bomba: A troca dos motores de baixo rendimento ou de rendimento padrão por máquinas de alto rendimento é, normalmente, a ação mais direta para a diminuição do consumo de energia elétrica nos sistemas de bombeamento. O consumo de energia elétrica é inversamente proporcional ao rendimento do conjunto elevatório, conforme pode ser observado pela equação 4.3, que apresenta o custo de energia em função da potência requerida pelo sistema.

$$C_{energia} = P\ N_b\ p \qquad \text{Equação 4.3}$$

em que

$C_{energia}$ = custo da energia, em unidades monetárias ($), em um determinado intervalo de tempo;

P = potência requerida pela estação elevatória, em kW;

N_b = número de horas de bombeamento, em um determinado intervalo de tempo, em horas;

p = custo unitário da energia, em $/kWh.

A potência requerida por uma estação elevatória de água bruta, tratada ou de esgoto, em kW, pode ser obtida diretamente pela equação 3.9.

O custo da energia de bombeamento, para determinado intervalo de tempo, será então:

$$C_{energia} = \frac{9,81 \quad Q \; H}{\eta} N_b \; p \quad \text{Equação 4.4}$$

em que

Q = vazão requerida pelo projeto, em m^3/s;

H = altura manométrica de bombeamento, em mca;

η = rendimento global do conjunto elevatório, em decimais, resultante do produto entre o rendimento do motor e o da bomba.

Redução na altura manométrica: A altura manométrica H é a soma da altura geométrica de elevação da água com as perdas de carga localizadas e por atrito ao longo do conduto.

Caso o projeto do sistema de distribuição de água tenha sido concebido adequadamente, não haverá flexibilidade para redução da altura geométrica de bombeamento. No entanto, poderá ocorrer que em alguns casos excepcionais haja a possibilidade de realocar o ponto de captação e/ou de destino da estação elevatória, de maneira a reduzir a altura geométrica do sistema de impulsão.

Redução da perda de carga ou de energia no sistema: A redução da perda de carga hidráulica, ou de energia, no sistema de abastecimento pode ocorrer em várias partes e em situações distintas, dependendo da concepção geral do sistema, do seu estado de conservação e dos processos operacionais. Considerando uma concepção geral do sistema, conforme mostrado na figura 4.11, as perdas de energia podem ocorrer nas seguintes partes:

- estação de bombeamento de água bruta;
- adutora de água bruta;
- estação de tratamento de água (ETA);
- estação de bombeamento de água tratada;

- reservatório;
- rede de distribuição.

Normalmente as maiores perdas de carga ou de energia em todo o sistema ocorrem nas tubulações das adutoras das redes pressurizadas de distribuição de água.

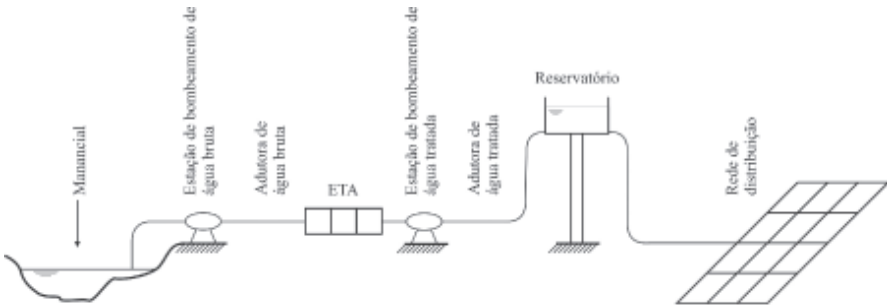
Estações de bombeamento e adutoras: Em uma instalação de recalque o custo da energia de bombeamento e da linha adutora é função direta do diâmetro da tubulação da adutora, conforme pode ser observado pelo gráfico da figura 4.12. Este gráfico relaciona o custo capitalizado da energia de bombeamento, de investimento da tubulação da linha adutora, e o custo total (soma da energia e tubulação), em função do diâmetro da condução. O diâmetro ótimo, em termos econômicos e hidráulicos, é o

FONTE: GOMES (2009)

Figura 4.11 Partes componentes de um sistema de distribuição de água

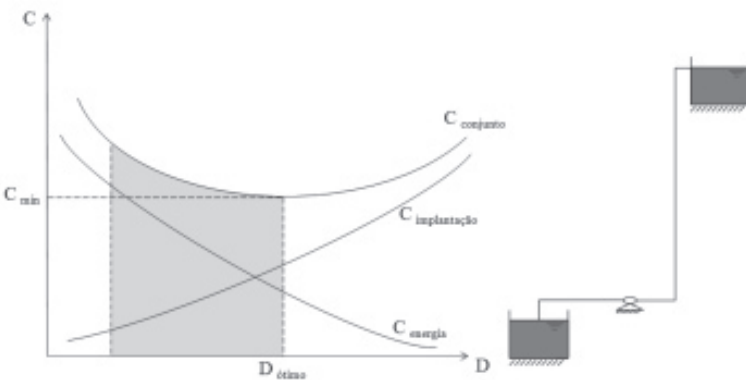



Figura 4.12 Custo da estação elevatória segundo o diâmetro da adutora

que minimiza o custo total do sistema elevatório, formado pelo custo de investimento da tubulação e o custo atualizado da energia do bombeamento. As estações elevatórias existentes atualmente no Brasil, na sua grande maioria, estão operando com seus diâmetros inferiores ao diâmetro ótimo. Na faixa de diâmetros inferiores ao ótimo, conforme mostrado no gráfico da figura 4.12, existe uma perda de energia que poderia ser minimizada caso se adotasse o diâmetros ótimo para a adutora. Isso ocorre porque os projetos em operação foram projetados há alguns anos, quando o custo da tarifa energética não tinha a repercussão que possui hoje em dia.

Nas estações elevatórias de água bruta e de água tratada em operação, poderão ser tomadas medidas de diminuição da perda de energia nas tubulações de recalque, tais como: diminuição da rugosidade mediante a limpeza das paredes internas dos tubos; substituição da tubulação por outra de maior diâmetro e implantação de nova tubulação em paralelo à já existente.

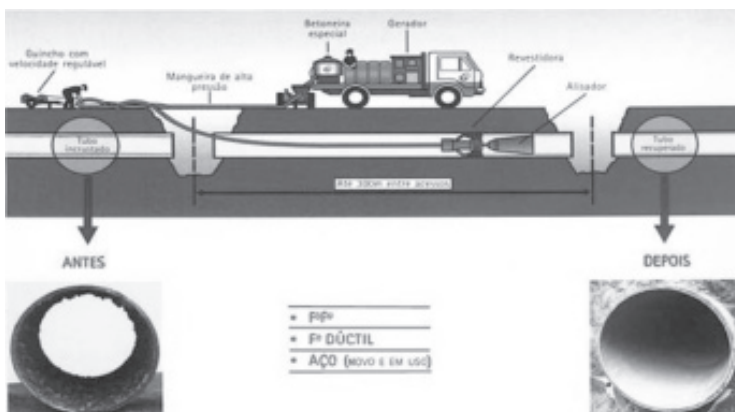
A diminuição da rugosidade mediante a limpeza das paredes internas dos tubos pode ser realizada com a aplicação de revestimento com argamassa de cimento, que consiste na colocação de uma camada de argamassa de cimento com espessura da ordem de 3 mm a 6 mm sobre a superfície metálica (ver figura 4.13). Esta aplicação é, geralmente, precedida da limpeza interna dos tubos, sendo considerada a técnica mais usada para reabilitação de tubulações. No Brasil, desde meados da década de 1960, as tubulações de ferro fundido para condução de água potável recebem revestimento protetor de argamassa de cimento. O revestimento é aplicado nas paredes internas das tubulações metálicas, abrangendo diâmetros que variam de 100 mm a 2000 mm. A redução do diâmetro interno da condução é compensada pela diminuição da rugosidade da tubulação.

FONTE:<HTTP://WWW.ERCON.COM.BR> *APUD* GOMES E BEZERRA (2007)

Figura 4.13 Aplicação do revestimento de argamassa de cimento

Quando a capacidade de transporte da linha adutora torna-se ineficiente, decorrente do aumento da vazão e, consequentemente, da perda de energia, deve-se substituir o diâmetro da tubulação existente ou ampliar a sua capacidade mediante a implantação de uma nova condução em paralelo. Todas as intervenções de reabilitação de sistemas de distribuição de água devem ser precedidas de uma análise minuciosa da viabilidade técnica e econômica das possíveis alternativas que impliquem em mudanças nas estruturas e nos processos operacionais.

Dentre as inúmeras metodologias de determinação do diâmetro ótimo de estações elevatórias de bombeamento, que otimizam o custo de investimento e de energia, pode-se citar o método de dimensionamento econômico de instalações de recalque (DEIR), que está descrito detalhadamente em Gomes (2009).

Reservatório: Nos reservatórios elevados de captação e distribuição a entrada da água ocorre, geralmente, pela parte superior da estrutura (ver figura 4.14). Uma possibilidade de diminuir a altura manométrica relativa à adução ao reservatório é posicionar a entrada da tubulação de adução pelo fundo do reservatório, o que proporciona uma redução na altura de carga de até o valor de ΔH conforme mostrado na figura 4.14.

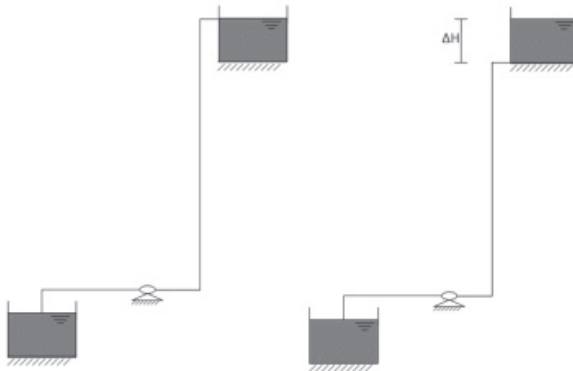



Figura 4.14 Redução ΔH na altura manométrica com alteração na posição de entrada da água no reservatório

Rede de distribuição: As perdas de energia na rede coletiva de distribuição são devidas, principalmente, às perdas de carga hidráulicas, por atrito, que ocorrem ao longo das tubulações. Essas perdas dependem, primordialmente, dos diâmetros das tubulações e do estado de conservação dos tubos. Conforme mostrado na figura 4.13, as

incrustações de materiais sólidos depositados nas paredes dos tubos e a deterioração das rugosidades provocam um aumento significativo nas perdas de energia na rede urbana de abastecimento. O aumento na perda de energia na rede de distribuição afeta significativamente a qualidade do serviço prestado. Dependendo da magnitude das perdas de carga ou de energia na rede de abastecimento, a água poderá não alcançar determinados pontos de consumo, principalmente os situados na periferia e/ou em cotas topográficas mais elevadas. O alívio da perda de carga na rede urbana de tubulações é necessário para a diminuição da energia necessária para impulsionar o sistema e para melhorar a qualidade de serviço do abastecimento.

O dimensionamento econômico de redes coletivas de distribuição, e a reabilitação de suas tubulações, com vistas à minimização do custo energético de bombeamento, pode ser efetuado por meio de modelos matemáticos de otimização. O método PNL2000 e o programa LENHSNET (GOMES *et al.*, 2009) são ferramentas de dimensionamento econômico de redes e elevatórias, que levam em conta a otimização do consumo de energia elétrica de sistemas de bombeamento e que têm sido amplamente testados em aplicações práticas.

Redução no volume de água demandado: A redução do volume de água demandado poderá ocorrer com a diminuição das perdas físicas, conforme comentado no item 4.2.1, ou com a diminuição do volume de água demandado pelos usuários do sistema de abastecimento.

A diminuição do volume de água demandado pelos usuários do sistema de abastecimento poderá ocorrer com: a alteração dos hábitos de consumo da população atendida, a diminuição dos desperdícios que acontecem internamente nas economias atendidas e a utilização de tecnologias de reuso ou de fontes alternativas (aproveitamento de água da chuva). Os detalhes sobre o gerenciamento da demanda de água estão descritos no Capítulo 5.

c) Controle operacional

Alteração no sistema de bombeamento-reservação: A alteração no sistema de bombeamento-reservação consiste em aproveitar a capacidade volumétrica de reservatórios elevados de regularização, que existem em grande parte de sistemas públicos, para abastecer a região atendida, com o desligamento dos equipamentos de bombeamento, em determinados horários do dia. Os reservatórios elevados de regularização podem abastecer as regiões atendidas, desde que suas cotas piezométricas sejam suficientes para pressurizar as redes de distribuição com pressões suficientes para atingir as cargas mínimas nos pontos mais desfavoráveis das redes de abastecimento. Como as tarifas de energia elétrica são, normalmente, mais caras no horário de ponta (geralmente entre 18h e 21h) o desligamento dos equipamentos moto-bomba produz uma economia considerável na conta de energia do sistema.

Caso o volume de reservação seja inferior ao volume de água demandado pelo sistema no horário de ponta, a operação otimizada poderá dispor de três situações: desligar um número de bombas inferior ao total de máquinas instaladas em paralelo, desligar as bombas durante um período inferior às três horas do horário de ponta ou aumentar a capacidade de reservação.

O aumento da capacidade de reservação ou a construção de novo reservatório de regularização, apoiado ou elevado, dependerá da sua viabilidade técnica e econômica. Os reservatórios elevados são, geralmente, muito caros; suas implantações somente serão viáveis se a economia de energia elétrica, proporcionadas pelas paradas das bombas nos horários de ponta, compensar os custos de investimentos desses reservatórios.

Utilização de bombas com velocidade variável – conversores de frequência: Bombas operando com velocidade variável são consideravelmente eficientes, em termos de diminuição da potência requerida e de energia consumida pelo sistema de bombeamento, quando há variação da vazão demandada pelo sistema de distribuição de água. A variação da velocidade é necessária quando a carga requerida à estação elevatória varia ao longo do dia, o que ocorre quando há bombeamento direto ao sistema, isto é, quando não existe reservatório de regularização. De acordo com a variação da curva de consumo do sistema, ao longo do dia, a vazão demandada varia, atingindo um valor máximo na hora de maior consumo 9h e 15h e um valor mínimo durante a madrugada. Com a bomba de velocidade fixa o motor trabalhará com a potência consideravelmente superior à requerida no horário de baixa demanda, ocasionando perda de energia e pressões elevadas na rede de abastecimento. Essas sobrepressões, por sua vez, contribuem para o aumento de vazamentos nas tubulações.

Definitivamente, o emprego de bomba de velocidade variável produzirá diminuição do consumo de energia e de perdas físicas de água no sistema de abastecimento, quando houver modulação variável de carga ao longo do dia.

As velocidades variáveis dos rotores das bombas são alcançadas mediante o emprego de equipamentos denominados conversores de frequência, que possibilitam a variação da frequência no acionamento dos motores elétricos, provocando, consequentemente, variações nas rotações dos seus eixos. O conversor de frequência, também conhecido como inversor de frequência, é um dispositivo eletrônico que converte a tensão da rede alternada senoidal em tensão contínua, de amplitude e frequência constante; e, finalmente, converte esta última em uma tensão de amplitude e frequência variável. A denominação inversor ou conversor é controversa, de modo que alguns fabricantes utilizam a palavra inversor e outros a palavra conversor. De acordo com Europump Hydraulic Institute (GREAT BRITAIN, 2004) a utilização de variadores de frequência ocasiona uma redução controlada da potência dos motores e, de modo geral, possibilita uma economia de energia de 30% a 50%

Inerentemente ao projeto básico de um conversor de frequência tem-se na entrada o bloco retificador, o circuito intermediário composto de um banco de **capacitores eletrolíticos** e circuitos de **alta frequência** e, finalmente, o bloco inversor. O circuito esquemático do conversor é apresentado na figura 4.15.

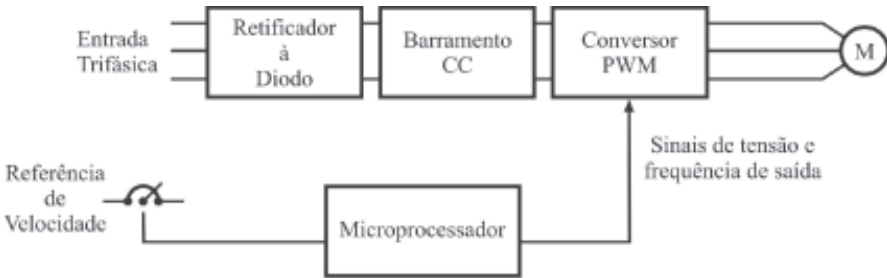



Figura 4.15 Circuito esquemático de um conversor de frequência

Os conversores são utilizados em **motores elétricos** de indução trifásicos (motor CA) para substituir os sistemas de variação de velocidades mecânicos, tais como polias e variadores hidráulicos, bem como **motores de corrente contínua**, que, além de serem mais caros, requerem manutenção constante.

A rotação de um motor CA depende da freqüência da rede de alimentação; quanto maior for à frequência maior a rotação e vice-versa, conforme demonstrado pela equação 4.5.

$Nr = 120\ f\ (1-s)\ /\ p$ Equação 4.5

em que

Nr = velocidade de rotação, em rpm

f = frequência da rede, em Hz

s = escorregamento

p = número de pólos do motor

Os conversores devem ser dimensionados pela corrente do motor. É importante notar também outros aspectos da aplicação durante o dimensionamento, como, por exemplo, torque (constante, linear e quadrático), precisão de controle, partidas e frenagens, regime de trabalho e outros aspectos particulares de cada aplicação.

Os conversores de frequência, por se tratarem de dispositivos dotados de uma **ponte retificadora** trifásica a diodos, são **cargas não lineares** e geram **harmônicas**. As frequências harmônicas são distorções da forma de onda de tensões e/ou correntes elétricas que provocam a redução do fator de potência, a interferência na rede elétrica e o aumento das perdas. Os fabricantes de conversores de frequência disponibilizam **filtros de harmônicas**, alguns já integrados ao produto, outros opcionais, para diminuição ou até mesmo eliminação das harmônicas tanto de corrente quanto de tensão elétrica.

Existem dois tipos de conversores de frequência disponíveis no mercado: o escalar e o vetorial. A diferença entre o controle escalar e o vetorial consiste, basicamente, na curva torque *versus* rotação. O conversor escalar opera tendo como referência V/F constante (tensão por frequência). Este tipo de conversor não oferece altos torques em baixas rotações, pois o torque é função direta da corrente de alimentação.

O conversor vetorial não possui uma curva parametrizada. A curva varia de acordo com a solicitação de torque; portanto possui circuitos que variam a tensão e a frequência do motor, por meio do controle das correntes de magnetização e do rotor. Esse tipo de conversor é indicado para torque elevado com baixa rotação, controle preciso de velocidade e torque regulável.

De maneira geral, o conversor de frequência consome de 2% a 6% da energia elétrica consumida pelo motor a ele conectado. As principais vantagens e desvantagens dos conversores em sistemas de bombeamento são:

Vantagens:

- economia de energia elétrica;
- evita pressões elevadas nas redes de distribuição;
- elimina o baixo fator de potência;
- a corrente do motor é controlada de forma suave, sem picos;
- utilizado para a partida e parada suave do motor;
- minimiza a necessidade de paradas do sistema ou elimina os saltos de produção.

Desvantagens:

- custo;
- produz interferências na rede elétrica de alimentação (harmônicas).

A figura 4.16 mostra a foto de um quadro elétrico do sistema piloto de distribuição de água do LENHS UFPB. O quadro possui um conversor de frequência responsável pela alimentação de um conjunto motor bomba de 15 CV.

Figura 4.16 Quadro de comando elétrico com conversor de frequência para acionamento de um conjunto motor bomba de 15 CV

A implantação de conversores de frequência em estações de bombeamento nem sempre é viável técnica e economicamente. Para se atestar a viabilidade técnica e econômica deve-se efetuar um estudo detalhado da hidráulica operacional do sistema de distribuição de água, complementado com estudos eletromecânicos, além dos quantitativos de custos e da economia proporcionada de energia elétrica. Em alguns casos o vendedor do equipamento alega vantagens da implantação do equipamento, sem levar em consideração as condições operacionais específicas do sistema de bombeamento em questão.

Alteração nos procedimentos operacionais de ETA: Os principais pontos de consumo de energia elétrica em uma ETA são:

- bombas dosadoras de produtos químicos;
- equipamentos de mistura rápida;
- equipamentos de floculação;
- bombas para a lavagem dos filtros;
- bombas para recalque de água de utilidades;
- bombas para remoção de lodo;
- bombas para a recuperação da água de lavagem dos filtros.

Em estudo realizado por Saron (1998), na ETA de Guaraú da Sabesp-SP, localizada na região metropolitana de São Paulo e que trata uma vazão de água de 33 m^3. s, os custos com energia elétrica representam 8,2% do custo total de operação da estação.

Para reduzir os custos de energia elétrica nas ETA podem-se adotar medidas para a não utilização das bombas no horário de ponta.

4.3 Ações não estruturantes para a diminuição do consumo de água e energia

As ações não estruturantes que direta ou indiretamente fomentam medidas voltadas à diminuição do consumo de energia e água em sistemas públicos de abastecimento de água no Brasil são programas institucionais dirigidos ao setor de saneamento, conduzidos por diversos ministérios. Dentre estes programas destacam-se os da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) do Ministério das Cidades: Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS) e o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCA). O PMSS, por sua vez, é responsável por importantes instrumentos, tais como o Sistema Nacional de Informação em Saneamento (SNIS), a Rede Nacional de Capacitação em Saneamento (ReCESA) e o subprograma COM+ÁGUA.

Por parte da Eletrobrás, do Ministério das Minas e Energia, vale destacar o exitoso Procel Sanear – programa de eficiência energética para o setor de Saneamento.

A seguir é feita uma descrição sucinta dos programas mencionados.

4.3.1 PMSS

O PMSS atua como área técnica de suporte às ações da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) do Ministério das Cidades, implementando projetos importantes à missão da Secretaria de prestar assistência a estados e municípios brasileiros, assim como seus prestadores e reguladores dos serviços de saneamento básico, visando à melhoria da gestão.

O programa foi concebido originalmente em 1993, como um projeto piloto, mas se transformou em um programa permanente do Governo Federal.

O PMSS desenvolve inúmeras ações no campo da estruturação dos serviços de saneamento brasileiros, contribuindo para a melhoria da gestão, compreendendo as etapas de planejamento, regulação e fiscalização, e a própria prestação. Além disso o programa desenvolve projetos nas áreas de capacitação, gestão das perdas de água e do uso de energia elétrica, cooperação técnica internacional, realização de estudos sobre temas relevantes de interesse nacional e divulgação e disseminação de experiências, dentre outras ações.

A história de atuação do PMSS em seus quinze anos de existência com destaque para o Sistema Nacional de Informação em Saneamento (SNIS) como seu produto mais

reconhecido evidência a inscrição do programa na agenda institucional da SNSA/do Ministério das Cidades. O desafio atual e urgente é justamente efetivar esta vinculação do PMSS à estrutura do Governo federal, atribuindo ao programa um caráter permanente e estável, ao mesmo tempo ampliando o grau de flexibilidade funcional que o caracterizou até aqui.

O PMSS é o programa que criou e administra o SNIS; tem suas ações voltadas à criação das condições propícias a um ambiente de mudanças e de desenvolvimento do setor saneamento no país. O programa tem como pauta principal a atuação no apoio técnico à União, aos estados e aos municípios, para a formulação de políticas públicas, para o estabelecimento de marco regulatório e para a melhoria e reestruturação da prestação dos serviços, tratando de questões essenciais relativas aos serviços de saneamento.

Diante desse ambiente institucional, o PMSS contribui, com transparência e responsabilidade, na divulgação de registros documentais que sirvam de inspiração para o desenvolvimento do saneamento brasileiro, por meio de publicações que contemplam temas nos campos legal, institucional, econômico-financeiro, de regulação, financiamento, avaliação de projetos, classificação ambiental e resíduos sólidos, dentre outros.

As informações citadas sobre o PMSS foram extraídas da sua página na internet, no seguinte endereço: http://www.pmss.gov.br/pmss/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=52.

4.3.2 SNIS

O SNIS é o maior banco de dados do setor saneamento brasileiro, administrado no âmbito PMSS, e relevante iniciativa do Ministério das Cidades no âmbito da SNSA. O sistema apóia-se em um banco de dados administrado na esfera federal, que contém informações de caráter institucional, administrativo, operacional, gerencial, econômico-financeiro e de qualidade sobre a prestação de serviços de água, de esgotos e de manejo de resíduos sólidos. Para os serviços de água e de esgotos, os dados são atualizados anualmente para uma amostra de prestadores de serviços, desde o ano de referência 1995. Em relação aos serviços de manejo de resíduos sólidos, os dados são também atualizados anualmente para uma amostra de municípios, contendo atualmente dados do período de 2002 a 2005, estando em preparo a edição referente a 2006.

O SNIS tem como principais objetivos:

- planejamento e execução de políticas públicas de saneamento;
- orientação da aplicação de recursos;
- conhecimento e avaliação do setor saneamento;
- avaliação de desempenho dos prestadores de serviços;

- melhoria da gestão, elevando os níveis de eficiência e eficácia;
- orientação de atividades regulatórias; e
- *benchmarking* e guia de referência para medição de desempenho.

A série histórica de dados do SNIS possibilita a identificação de tendências em relação a custos, receitas e padrões dos serviços, a elaboração de inferências a respeito da trajetória das variáveis mais importantes para o setor, e, assim, o desenho de estratégias de intervenção com maior embasamento. Além disso as informações e os indicadores em perspectiva histórica esclarecem mitos e descortinam realidades sobre a prestação dos serviços à sociedade brasileira. Isso significa a abertura de mais um espaço para a sociedade atuar na cobrança por melhores serviços, por meio de argumentos técnicos e com um embasamento mais consistente.

Mesmo com o fornecimento dos dados ao SNIS sendo feito de forma voluntária pelos prestadores de serviços e municípios convidados a participar da amostra, característica essa de fundamental importância para a sua consolidação, o sistema encontrou resposta positiva junto ao setor saneamento brasileiro, contribuindo para a capacitação das instituições no trato das informações em saneamento. Embora funcionando relativamente bem, com a consolidação do SNIS no cenário nacional torna-se necessário o seu fortalecimento institucional, estabelecendo incentivos e obrigações para o fornecimento das informações por parte dos agentes do setor, como forma de aumentar a responsabilidade e a precisão dos dados.

As informações citadas sobre o SNIS foram extraídas da sua página na internet, no endereço http://www.snis.gov.br.

4.3.3 COM+ÁGUA

O COM+ÁGUA é um dos principais projetos do PMSS e tem por objetivos o combate às perdas de água e o uso eficiente de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água, propondo uma gestão integrada e participativa e mobilização social interna e externa. A partir da Chamada Pública MCidades/SNSA/PMSS nº 004/2005 foram selecionados 10 prestadores de serviço nos quais, conforme suas características, o projeto se desenvolveu, com assistência técnica de uma equipe multidisciplinar de consultores, até maio de 2008. Essa equipe de consultores foi composta por profissionais do PMSS e do Consórcio ETEP/JHE/JNS/FIA, contratado para a execução do COM+ÁGUA.

De caráter demonstrativo no combate às perdas de água e energia com ações de mobilização social, o COM+ÁGUA parte de bases metodológicas como as ferramentas de Diagnóstico Situacional do Sistema de Abastecimento de Água e de Mobilização Social, para chegar a experiências de implantação de comitê gestor intersetorial com objetivo

de efetivar a gestão e o controle do projeto com base no balanço hídrico e nas ações de mobilização social no âmbito de cada uma das empresas/autarquias parceiras.

O apoio institucional aos prestadores de serviço de abastecimento de água selecionados está estruturado num diagnóstico detalhado da gestão do sistema, em atividades de capacitação, assistência técnica e consultoria que acontecem ao longo do período do projeto e ainda no fornecimento de equipamentos necessários à sua implementação.

Estas atividades são implementadas e articuladas por meio do desenvolvimento de diversos subprojetos que compõem o COM+ÁGUA:

- macromedição e automação;
- sistema cadastral técnico e modelagem hidráulica;
- controle e redução de perdas reais;
- gestão do uso da energia elétrica;
- controle e redução de perdas aparentes;
- planejamento e controle operacional;
- instâncias participativas;
- educação e cultura;
- comunicação.

As informações citadas sobre o COM+ÁGUA foram extraídas da sua página na internet, no endereço http://www.pmss.gov.br/pmss/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=117.

4.3.4 ReCESA

A estruturação da Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental (ReCESA) constitui importante iniciativa para o desenvolvimento de políticas públicas integradas, na perspectiva da capacitação dos profissionais que atuam no setor. A proposta da rede teve origem no grupo de trabalho, de caráter interministerial, denominado GT Capacitação, constituído em 2004. O GT surgiu em resposta a uma intenção do governo de conhecimento da realidade brasileira nesta área. O argumento para criação da ReCESA foi extraído dos resultados do estudo Capacitação em Saneamento Ambiental: Identificação e Qualificação da Oferta e da Demanda, realizado pelo PMSS. O programa atua como Núcleo Executivo da ReCESA.

A rede tem o propósito de reunir, articular e integrar um conjunto de instituições e entidades com o objetivo de promover o desenvolvimento institucional do setor mediante soluções de capacitação, intercâmbio técnico e extensão tecnológica. Para estruturar a ReCESA, foi adotada uma estratégia de formação de Núcleos Regionais.

Estes constituem os contextos embrionários da rede, que será ampliada por adesão de outras instituições e entidades de atuação nacional.

Para constituir os Núcleos Regionais da ReCESA e desenvolver uma extensa grade de capacitação por dois anos, o Ministério da Ciência e Tecnologia, por intermédio da Finep, lançou, em 3 de junho de 2005, uma Chamada Pública que conta com recursos do Fundo Setorial de Recursos Hídricos CT-HIDRO, no valor de R$ 4 milhões. O projeto conta também com recursos do Ministério das Cidades e da Funasa, totalizando R$ 6,3 milhões, soma significativa para projetos dessa natureza.

Os Núcleos Regionais deverão promover a formação e a capacitação dos profissionais que atuam no setor, assim como as políticas públicas que disciplinam a intervenção de todos os agentes envolvidos nos seguintes componentes do saneamento:

- gerenciamento, operação e manutenção dos sistemas de abastecimento de água com ênfase nas unidades de tratamento e nos processos e técnicas de uso eficiente de água e de energia;
- gerenciamento, operação e manutenção dos sistemas de esgotamento sanitário, com ênfase nas unidades de tratamento;
- manejo integrado dos resíduos sólidos urbanos, com ênfase nas técnicas e nos processos de gestão voltados para a minimização da geração, transformação e destinação final adequada de todos os tipos de resíduos e na inclusão social dos catadores de lixo como agentes ambientais e econômicos; e
- manejo integrado das águas pluviais urbanas, com ênfase em soluções que visem ao controle da impermeabilização do solo e a outros mecanismos de redução ou amortecimento das cheias e em medidas locais para controle dos escoamentos e do carreamento de sedimentos.

As informações citadas sobre a ReCESA foram extraídas da sua página na internet, no endereço http://www.pmss.gov.br/pmss/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=61.

4.3.5 PNCDA

O PNCDA, instituído em abril de 1997 pelo Governo Federal, tem por objetivo geral promover o uso racional da água de abastecimento público nas cidades brasileiras, em benefício da saúde pública, do saneamento ambiental e da eficiência dos serviços, propiciando a melhor produtividade dos ativos existentes e a postergação de parte dos investimentos para a ampliação dos sistemas. Tem por objetivos específicos definir e implementar um conjunto de ações e instrumentos tecnológicos, normativos, econômicos e institucionais, concorrentes para uma efetiva economia dos volumes de água demandados para consumo nas áreas urbanas.

O PNCDA encontra-se em sua fase III. As fases I e II do PNCDA concentraram esforços no apoio ao desenvolvimento, à transferência e à disseminação de tecnologia, em articulação com outros programas federais e apoiando os Planos de Combate ao Desperdício de Água.

Na Fase III do PNCDA, por meio de convênio vigente entre o Ministério das Cidades/SNSA e a Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo (Fusp), foram previstas atividades diversas, revisão e elaboração de DTAs, conforme a seguir: DTA A2 – Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água (revisão); DTA A4 – Bibliografia Anotada (revisão); DTA C2 – Panorama dos Sistemas Públicos de Abastecimento no País (revisão); DTA D2 – Macromedição (revisão); DTA D3 – Micromedição (revisão); DTA F2 – Produtos Economizadores nos Sistemas Prediais (revisão); DTA A5 –Diretrizes e Procedimentos para Desenvolvimento dos Planos (regionais e locais) de Combate ao Desperdício de Água (elaboração); DTA B4 – Prospecção das Necessidades de Capacitação Técnica dos Prestadores do Serviço de Abastecimento de Água no Brasil (elaboração); DTA B6 – Estratégias de Educação e Comunicação (elaboração); DTA F3 – Código de Prática de Projeto e Execução de Sistemas Prediais de Água – Conservação de Água em Edifícios (elaboração); DTA F4 – Código de Prática de Projeto e Execução de Ramais Prediais de Água em Polietileno (elaboração); Reformulação e alimentação da página do PNCDA na rede mundial de computadores.

As informações citadas sobre a ReCESA foram extraídas da sua página na internet, no endereço http://www2.cidades.gov.br/pncda/default.asp?Link=Apresentacao.

4.3.6 Procel Sanear

O Procel Sanear é um programa da Eletrobrás que tem como principal objetivo promover ações que visem ao uso eficiente de energia elétrica e água em sistemas de abastecimento e de esgotamento sanitário, incluindo os consumidores, segundo uma visão integrada de utilização desses recursos. O programa incentiva também o uso eficiente dos recursos hídricos, como estratégia de prevenção à escassez de água destinada à geração hidroelétrica.

O Procel Sanear vem atuando de forma conjunta com o PNCDA e o PMSS. Outros agentes que merecem destaque, junto ao Procel Sanear, é o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica da Eletrobrás (Cepel), que desempenha papel importante no âmbito técnico do Programa e a Fundação Nacional da Saúde (Funasa) do Ministério da Saúde, que dá suporte aos municípios brasileiros de até 50.000 habitantes.

As principais metas do Procel Sanear são: incrementar o fluxo de recursos financeiros para implementação de projetos de eficiência energética na área de saneamento ambiental; contribuir para a melhora dos indicadores de desempenho associados à ener-

gia elétrica e ao processamento de água dos prestadores de serviços de saneamento; e fomentar a conscientização dos consumidores no que se refere ao uso adequado de energia elétrica e água e à informação de novas tecnologias e seus benefícios.

As ações em andamento do Procel Sanear são citadas a seguir.

a) Institucional

- Estruturação de Rede de Cooperação entre Agentes Institucionais nos níveis gerencial e técnico.
- Incremento do Sistema Nacional de Informações do Saneamento (SNIS), com dados que reflitam o uso da energia elétrica pelo setor Saneamento.
- Promoção de ampla campanha para combate aos desperdícios (energia, água e outros).
- Protocolo de Cooperação Técnica com a Funasa.
- Protocolo de Cooperação Técnica com a Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento (Assemae)
- Elaboração de um edital, no contexto dos fundos setoriais de ciência e tecnologia, com a finalidade de desenvolver projetos de P&D para uso eficiente de água e energia.
- Apoio à criação de um Fundo Setorial de Pesquisas em Saneamento.
- Estruturação de nova chamada pública de projetos de Eficiência Energética no setor Saneamento.
- Integração de ações do Procel Sanear e do Procel GEM (Gestão Energética Municipal).
- Compatibilização do Ambiente Regulatório.
- Educação e Capacitação.
- Programa de Sensibilização e Capacitação de gestores de empresas de sistemas públicos de saneamento, em parceria com a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (Abes).
- Reedição de publicações e elaboração de novos materiais didáticos voltados para a conservação de energia elétrica e água.
- Promoção de intercâmbio com instituições de ensino.
- Apoio à Rede nacional de Capacitação do Ministério das Cidades (Recesa).
- Tecnologia.
- Apoio à Capacitação Laboratorial.

- Ampliação do Programa de Capacitação Laboratorial.
- Desenvolvimento de modelo reduzido para simular a automação, supervisão e controle de sistemas de abastecimento de água.
- Desenvolvimento de trabalhos necessários à Etiquetagem e ao Selo de Eficiência Energética para categorias de equipamentos apropriados ao Saneamento.
- Desenvolvimento de dispositivo controlador de horário de bombeamento.
- Apoio à implantação de laboratórios vivos para avaliação e difusão de equipamentos economizadores de água.

b) Financiamento

- Utilização de recursos da Reserva Global de Reversão (RGR), pelas Concessionárias de Energia Elétrica, para financiamento de projetos de eficiência energética em Saneamento.
- Reestruturação de linhas de financiamento existentes para Saneamento, de forma a incorporar requisitos de eficiência energética, controle e redução de perdas de água.
- Estruturação de novas linhas de financiamento para projetos de eficiência energética e controle e redução de perdas de água no Saneamento.
- Estruturação de base de dados de projetos contratados e não contratados.
- Ampliação do número de projetos de Saneamento no âmbito do Programa de Eficiência Energética da ANEEL.

c) Marketing & Comunicação

- Elaboração de um Programa Integrado de Marketing/Comunicação.
- Elaboração de um cadastro de relacionamento (SISGET).
- Participação em eventos para divulgação das ações do Procel Sanear.
- Estruturação da categoria saneamento ambiental no prêmio Procel.
- Difusão de estudos de casos em eficiência energética no saneamento ambiental.
- Laboratórios de Eficiência Hidráulica e Energética

O Procel Sanear vem apoiando a capacitação laboratorial em universidades brasileiras e centros de pesquisa, para uso multidisciplinar, e de formação de profissionais em diversos níveis (técnico, graduação e pós-graduação), com enfoque no uso eficiente integrado de água e energia elétrica.

Foram implantados seis LENHS nas cinco regiões do país, destinados à eficiência energética e à hidráulica em saneamento, de acordo com as ações integrantes do Procel. Estes também servirão para prestar apoio aos profissionais do Ministério de Minas e Energia (MME) e Ministério das Cidades (MCIDADES), na coleta de dados e medições *in loco* nas empresas prestadoras de serviços de saneamento e nos usuários finais.

Há convênios com as seguintes universidades:

- Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).
- Universidade Federal do Pará (UFPA).
- Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).
- Universidade Federal da Paraíba (UFPB).
- Universidade Federal do Paraná (UFPR).
- Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

A implantação dos LENHS tem como objetivos:

- Incrementar e multiplicar as ações voltadas para o uso eficiente de energia e água nas regiões geográficas.
- Pesquisar e difundir conceitos, posturas e tecnologias referentes à eficiência energética e hidráulica em saneamento, visando à redução de custos.
- Produzir acervo técnico informativo sobre melhores práticas integrando o uso eficiente de energia e água no saneamento.
- Subsidiar as ações desenvolvidas no âmbito da parceria entre Ministérios de Minas e Energia e das Cidades.

A implantação dos LENHS também é voltada às atividades de ensino, pesquisa e extensão das universidades. Essas atividades englobam a concessão de bolsas de estudo que incentivem a elaboração de trabalhos acadêmicos relacionados à eficiência energética, controle e redução de perdas de água. Os LENHS deverão se tornar um centro de excelência regional. A extensão à sociedade será garantida por meio de cursos específicos. A figura 4.17 mostra imagens do LENHS UFPB.

As informações citadas sobre o Procel Sanear foram extraídas da sua página na internet, no endereço: http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp?TeamID=#.

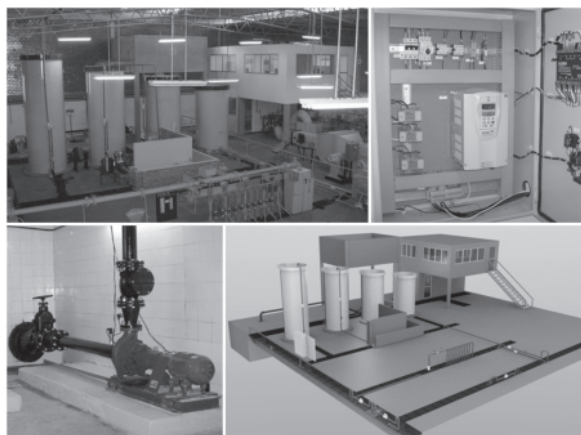



Figura 4.17 Imagens do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Paraíba / LENHS UFPB

4.4 Ferramentas tecnológicas para melhoria de desempenho de sistemas públicos experiência Prosab

Neste item são apresentadas tecnologias para melhora de desempenho de sistemas públicos de abastecimento de água, que foram desenvolvidas pelo Prosab, entre os anos 2007 e 2008, por meio do Tema 5 "USO RACIONAL DE ÁGUA E ENERGIA". São tecnologias avançadas que utilizam ferramentas de automação e controle com o emprego de sistemas inteligentes, modelos matemáticos de simulação e análise de sistemas de distribuição, utilização de conversores de frequência para otimização de sistemas de bombeamento, técnicas de detecção e controle de perdas físicas de água, etc.

4.4.1 Automação e controle

Automação é a aplicação de técnicas computadorizadas ou mecânicas para melhorar a qualidade do processo e diminuir ou suprimir a participação de mão-de-obra. Mecanismos automáticos podem ser adotados tanto no auxílio de controle de processos simples como no controle automático de grandes sistemas.

A automação de sistemas de abastecimento de água tem a finalidade de possibilitar a operação assistida de sistemas e/ou controle automático de processos. Pela automação é possível monitorar, controlar e interferir nas diversas unidades do sistema, em tempo real, possibilitando a melhoria no desempenho operacional, a mensuração de todas as atividades e a redução dos custos. As principais variáveis controladas e monitoradas nos sistemas de abastecimento de água são:

- grandezas elétricas dos conjuntos moto-bomba;
- dosagens de produtos químicos (cloro, flúor, etc);
- parâmetros de qualidade da água (turbidez, ph, potencial de coagulação, etc);
- níveis de mananciais, barragens, reservatórios, etc;
- posições de abertura das válvulas de controle;
- pressões;
- vibrações em conjuntos moto-bomba;
- temperaturas dos motores elétricos;
- vazões;
- volumes armazenados e distribuídos.

4.4.2 Sistema de controle

Define-se sistema de controle como uma disposição de componentes físicos, conectados ou relacionados de tal maneira a comandar, dirigir ou regular a si mesmo ou a outros sistemas. O controle do processo pode ser automático ou manual, podendo ter diversas variáveis de entrada e saída.

Os sistemas de controle podem ser de "malha aberta" e "malha fechada". O sistema de controle em malha aberta utiliza um atuador para controlar o processo sem a utilização de realimentação. Um sistema com várias bombas em paralelo, onde se determina com base no horário e na experiência dos técnicos quantas bombas devem ser ligadas, sem nenhuma variável sendo medida, é um exemplo de controle em malha aberta tipo liga/desliga (*on/off*).

Nos sistema de malha fechada, a ação de controle depende, de alguma maneira, da variável controlada. Como exemplo, tem-se o controle da pressão pela variação da velocidade de rotação do conjunto moto-bomba; neste caso, o sistema de controle do conversor de frequência verifica o valor da pressão e decide se aumenta ou diminui a frequência de acionamento do motor. Como o controle, geralmente, é permanente este também é chamado de "controle contínuo".

No setor de saneamento, geralmente, as técnicas de controle automáticas e de malha fechada são do tipo Proporcional Integral Derivativo (PID). A técnica de controle PID consiste em calcular um valor de atuação sobre o processo com base nas informações do valor desejado e do valor atual da variável do processo. Esse valor de atuação sobre o processo é transformado em um sinal adequado ao atuador (válvula, conversor, relé, etc.). De uma maneira bem simples, o PID é a composição de 3 ações. O P é a correção proporcional ao *erro*, I é a correção proporcional ao produto *erro versus tempo* e o D é

a correção proporcional à taxa de variação do *erro*. Este controlador é indicado para sistemas em que a função entre variável de entrada e de saída pode ser linearizada. O *erro* é a diferença entre o sinal de controle e o sinal da malha de realimentação. A literatura apresenta diversas técnicas para projeto e desenvolvimento destes controladores.

Com o avanço tecnológico das últimas décadas, pode-se perceber que os sistemas de controle de processo estão mais eficientes e confiáveis. Controladores mais modernos e eficientes estão sendo projetados para sistemas onde o controle do processo é complexo e que só eram realizados manualmente. Os sistemas Fuzzy surgiram fortemente como alternativa para o controle automático de sistemas não lineares e com várias entradas e saída. Em 1974, o professor E. H. Mamdani aplicou pela primeira vez um Sistema Fuzzy no controle de uma máquina a vapor, segundo Reyeros & Nicolás (1995), após inúmeras tentativas frustradas com diversos tipos de controladores.

4.4.3 Experiência Prosab – UFPB

Tendo em vista o controle automático e simultâneo de conjuntos moto-bomba (CMB) e de válvulas de controle em sistemas de distribuição de água foi implantada uma bancada experimental no LENHS UFPB. A bancada foi utilizada na modelagem e no desenvolvimento de um sistema de controle que também atendesse, com pequenas modificações, a sistemas similares.

A bancada experimental (ver figura 4.18) é composta por um reservatório circular apoiado (7,64 m^3), um conjunto moto-bomba monobloco de 3 CV, um conversor de frequência, duas válvulas de controle (CV), dois transmissores de pressão (TP), dois medidores de vazão (FT), duas fontes de alimentação e dois manômetros tipo *bourdon*, além das conexões e dos tubos de PVC (DN 50) da rede. Também foram utilizados nos experimentos: dois analisadores de energia, um computador portátil e um módulo de aquisição e transmissão de dados, que faz a interface entre o computador e os equipamentos eletrônicos.

O sistema de controle automatiza as ações referentes à rotação (frequência de alimentação) do conjunto moto-bomba e o acionamento de válvulas de controle. Com isso as decisões das manobras dos equipamentos passam a ser orientadas, em tempo real, com base em uma lógica computacional, visando à redução do consumo de energia elétrica e da vazão demandada.

Para a variação da rotação dos conjuntos moto-bomba é utilizado um conversor de frequência baseado em modulação do tipo PWM (*pulse width modulation*). O sistema de controle atua na definição da altura manométrica de bombeamento e no fechamento de válvulas localizadas em pontos estratégicos, controlando a pressão ao longo da rede hidráulica.

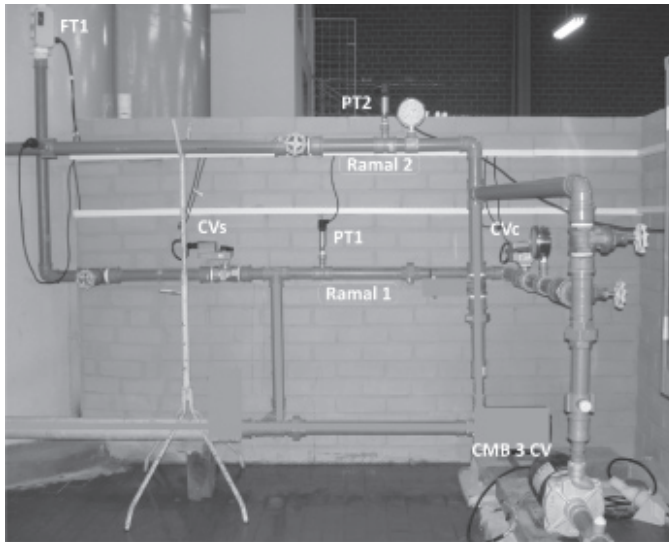



Figura 4.18 Bancada experimental de distribuição de água do LENHS UFPB

O controle automático de mais de um equipamento em sistemas de distribuição de água geralmente resulta em funções não lineares, de complexa modelagem matemática, o que dificulta a adoção de técnicas convencionais de controle clássico e moderno. Desse modo houve uma forte motivação para o uso de controladores baseados em Lógica Fuzzy (ZADEH, 1965), também chamada de Nebulosa ou Difusa. A Lógica Fuzzy possui uma alta habilidade em inferir conclusões e gerar respostas baseadas em informações vagas, ambíguas e qualitativamente incompletas e imprecisas. Estes sistemas são paradigmas computacionais de processamento de informação que procuram executar tarefas que exijam alguma forma de inteligência similar a dos seres humanos, por isto são referidos como "inteligentes". Seu comportamento é representado de maneira simples, levando à construção de sistemas de controle acessíveis, flexíveis e de fácil conservação.

Um Sistema Fuzzy é tipicamente composto dos seguintes blocos funcionais (figura 4.19): (a) Fuzzificação, (b) Inferência *Fuzzy* e (c) Defuzzificação.

Para o controle do processo descrito, foi desenvolvido no programa Labview™ um sistema supervisório. O Labview™ é diferente das usuais linguagens de programação porque utiliza linguagem gráfica conhecida como *Linguagem G* e tem um compilador gráfico aperfeiçoado para maximizar o desempenho do sistema, em vez de utilizar linhas de código. A escolha do Labview™ se deveu ao fato de ele ser totalmente compatível com o módulo de aquisição de dados e a facilidade para processar, armazenar e analisar os dados. Os programas gerados no Labview™ são chamados de instrumentos

virtuais (VI) porque possuem a aparência e operações que simulam equipamentos reais. A figura 4.20 apresenta um exemplo de simulação do Labview™, enquanto a figura 21 mostra o sistema supervisório desenvolvido.

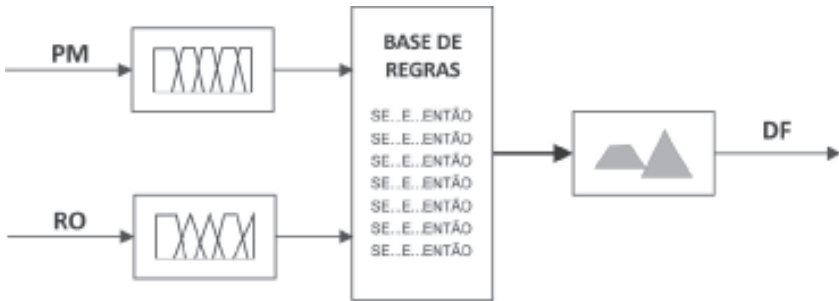



Figura 4.19 Exemplo da tomada de decisão de um Sistema Fuzzy

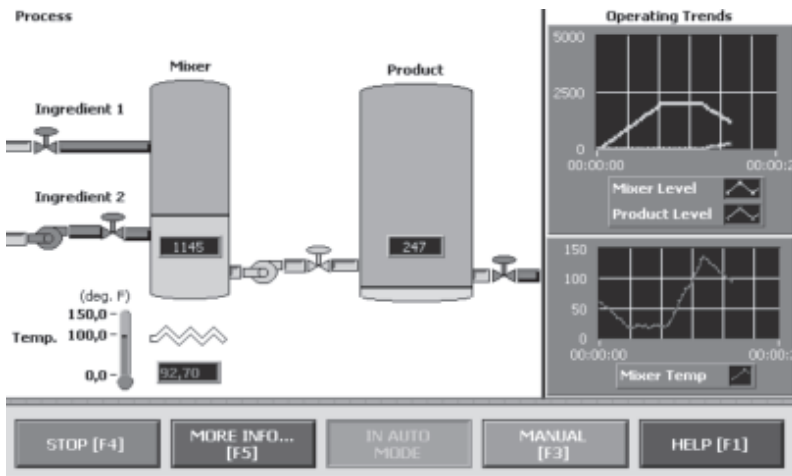



Figura 4.20 Exemplo de simulação do Labview™

O sistema de controle utiliza quatro entradas e três saídas analógicas do módulo de aquisição de dados. As entradas analógicas recebem o sinal de dois transmissores de pressão, duas válvulas de controle (indicação do ângulo de abertura da válvula). As saídas analógicas enviam sinais para variar a posição/abertura das válvulas de controle e a indicação da frequência que alimenta o motor elétrico.

Figura 4.21 Imagem do Sistema Supervisório

O sistema de controle é formado por dois controladores *fuzzy* que operam simultaneamente; o primeiro é responsável pela determinação da velocidade de rotação, enquanto o segundo atua na válvula de controle. Os controladores *fuzzy* foram implementados no *Toolkit Fuzzy Logic Controller Design* do programa Labview™.

Em seguida, são apresentados os experimentos realizados com a finalidade de comprovar, na prática, a eficácia do sistema de controle desenvolvido. Verificou-se a resposta do controlador para valores distintos de pressão, utilizou-se um degrau de 20 mca para o PT1 e 15 mca para o PT2. O ensaio foi realizado com o valor da frequência inicial zero, a válvula de controle CVc inicialmente fechada e a CVs com 45º de abertura. A figura 4.22 mostra as curvas de resposta ao degrau obtidas nos dois transdutores de pressão. Conforme se observa na figura, o controlador *fuzzy* teve uma excelente resposta, atingindo os valores de referência nos dois transmissores em 94 segundos, com um de regime permanente de 3,41% (0,68 mca) e 2,67% (0,53 mca), para os pontos de medição 1 e 2, respectivamente.

Para avaliar a eficiência energética do sistema experimental foi medida *on-line* a potência consumida e calculado o índice de Consumo Específico de Energia Elétrica (kWh/m^3) para o sistema com e sem o controlador do conversor de frequência. Apesar de o conversor de frequência consumir cerca de 5%[1] da energia total e ocasionar um decréscimo de rendimento do conjunto moto-bomba. Verificou-se que o controle de rotação proporcionou uma redução no consumo de energia elétrica de 19.312 kWh.ano para 12.547 kWh.ano, resultando numa economia de 35,03%, com uma diminuição de 27,91% no

indicador CE. A figura 4.23 mostra o comportamento das vazões bombeadas (ramal 1 + ramal 2), a figura 4.24 apresenta as curvas de potência, e a figura 4.25 exibe a curva do CE. A tabela 4.5 apresenta o resumo da avaliação energética dos experimentos.

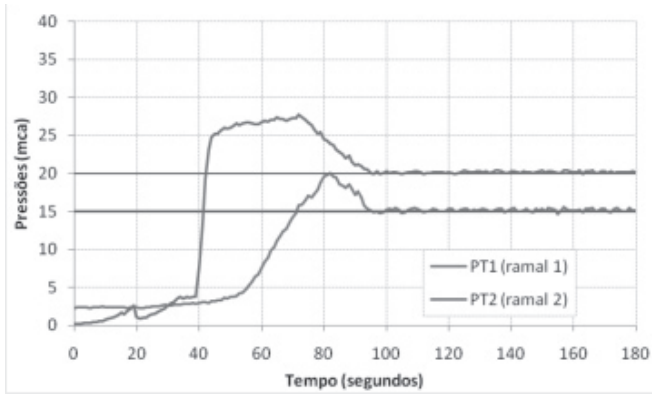



Figura 4.22 Curva de resposta do controlador em malha fechada

A redução no CE expressa a melhoria da eficiência do sistema. Como se trata de um sistema com uma demanda variável no tempo e o bombeamento direto na rede, a redução significativa no consumo energético era esperada, sendo esse estudo mais uma pesquisa que comprova a viabilidade do uso de conversores nestes casos.

Tabela 4.5 > Indicadores de consumo dos experimentos com e sem o conversor de frequência

	SISTEMA EM MALHA ABERTA (FREQUÊNCIA FIXA)	SISTEMA EM MALHA FECHADA (FREQUÊNCIA VARIÁVEL)	DIFERENÇA (%)
Vazão (m^3.h)	7,7289	6,9268	10,38
Consumo de energia (kWh.ano)	19.312	12.547	35,03
CE (kWh.m^3)	0,2877	0,2074	27,91

O controle de velocidade de rotação, atuando de maneira isolado, não tem capacidade de otimizar a pressão em mais de um ponto de um sistema de distribuição de água. Utilizando a equação 4.2 e extrapolando os resultados da bancada experimental para um sistema com vazamentos, com um valor de x igual a dois (tubos de plástico), tem-se que o Sistema Fuzzy desenvolvido para o controle simultâneo do CF e da CVc proporcionaria uma redução potencial de 75% (ramal 1) e 67% (ramal 2) do volume de vazamentos quando comparado com o sistema sem nenhum controle de pressão, e de 45% (ramal 1) do volu-

me de vazamentos comparando-o com o sistema com controle de pressão pelo conversor de frequência. A tabela 4.6 apresenta a sinopse do potencial de volume de vazamentos e as pressões da bancada experimental para as diversas condições consideradas.

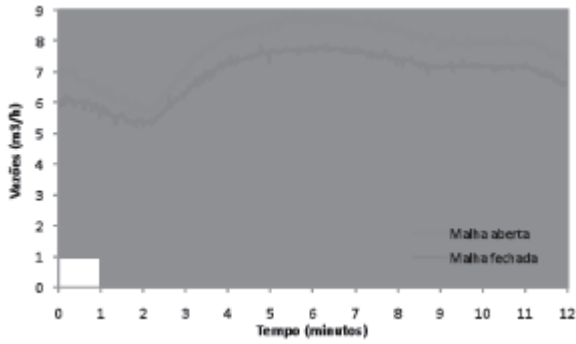



Figura 4.23 Curvas de vazões totais dos experimentos

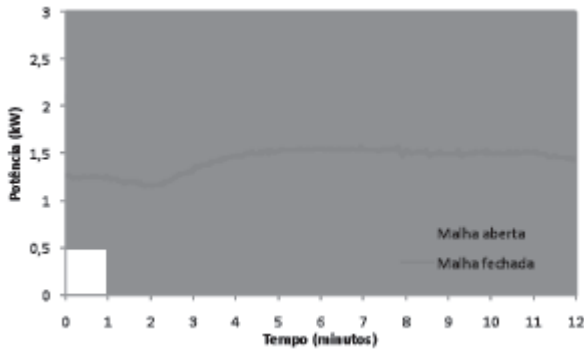



Figura 4.24 Consumo energético do conjunto moto-bomba dos experimentos

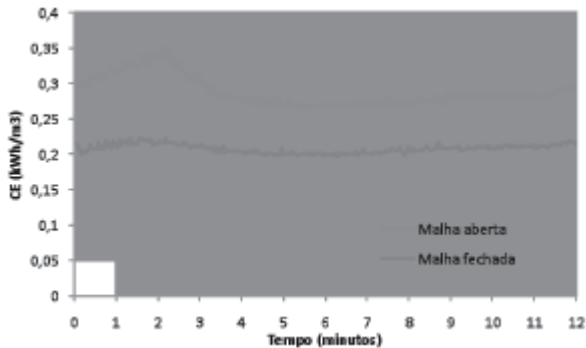



Figura 4.25 Curvas do CE dos experimentos

Tabela 4.6 > Resumo das pressões e volume perdido por vazamentos (estimado)

SITUAÇÃO	RAMAL 1		RAMAL 2	
	Pressão média [23] (mca)	**Volume de vazamento potencial**	**Pressão média [23] (mca)**	**Volume de vazamento potencial**
Sistema de controle (CF+CVc)	20,00	x	20,00	y
Controlador *fuzzy* do CF	27,04	1,83*x	20,00	y
Sem controlador	40,02	4,00*x	34,94	3,05*y

4.3.4 Modelagem hidráulica

A modelagem hidráulica é uma ferramenta, atualmente, imprescindível para a análise de um sistema coletivo (público) de abastecimento de água, com vista ao seu dia diagnóstico e posterior intervenção, para solucionar possíveis problemas de perdas de água e de energia. Dentre os modelos hidráulicos de simulação e as análises já desenvolvidos, um se destaca por sua qualidade e pela quantidade de usuários existentes em muitos países. Trata-se do Epanet (ROSSMAN, 2000), desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*U. S. Environmental Protection Agency* EPA). É um programa de domínio público, que pode ser utilizado livremente por qualquer usuário. A versão do Epanet para o português falado e escrito no Brasil e o seu correspondente manual foram traduzidos pelo LENHS UFPB e podem ser importados do endereço www.lenhs.ct.ufpb.br.

4.3.5 Experiência Prosab – UFMS

No âmbito do Prosab a equipe do LENHS UFMS desenvolveu uma ferramenta para localização de perdas reais de água em redes coletivas de abastecimento com base no Epanet. O modelo foi aplicado a um setor piloto da cidade de Campo Grande. Medidores contínuos de pressão e de vazão, que monitoram grandezas hidráulicas em tempo real, foram montados e instalados em campo (ver figuras 4.26 e 4.27). O sistema de monitoramento em tempo real foi integrado ao sistema supervisório da empresa de saneamento da cidade, com objetivo de alertar os operadores sobre possíveis anomalias no sistema. Para execução da pesquisa, a equipe contou com a infraestrutura do Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS) e com a empresa Águas Guariroba, parceira no projeto, que é a prestadora de serviços de saneamento do município de Campo Grande-MS.

O modelo do setor piloto (figura 4.28) agrega informações físicas, que são: topografia, comprimentos e diâmetros de tubulações, coeficientes de rugosidade, consumos nos nós e níveis de reservatórios. Para que seja realizada uma análise dinâmica,

Figura 4.26	Medidores contínuos de vazão (ultrassônico e Pitot), com tubo de Pitot utilizado para aferir o medidor ultrassônico

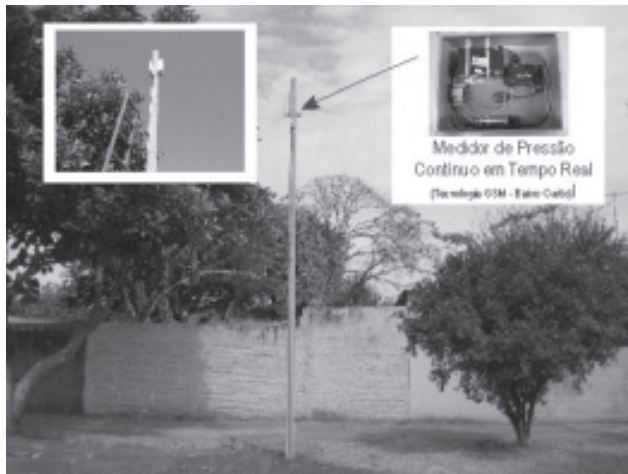



Figura 4.27	Medidor contínuo de pressão (GSM) instalado na rede de distribuição

também denominada simulação extensiva, foi necessário introduzir dados adicionais tais como: padrões de consumo, regras de operação de reservatórios, de bombas e de válvulas.

A principal função da simulação hidráulica é determinar as vazões nos trechos e as pressões nos nós para cada condição de demanda. Observa-se que se as demandas não forem estimadas com certo grau de confiança, as simulações poderão encontrar valores não condizentes com a realidade. Os métodos convencionais de modelagem hidráulica de redes estimam as demandas nos nós por meio da relação entre área de influência e consumo *per capita*. O procedimento utilizado no presente trabalho foi baseado em dados de micromedição fornecidos pela empresa. Cada usuário do sistema foi indexado ao nó que ele representa no modelo. Isso possibilitou uma estimativa de demandas mais realística. Essa estimação foi realizada com base em plantas das redes de abastecimento de cada bairro e com o auxílio do sistema municipal de informações geográficas, denominado Geomorena, criado pela Secretaria Municipal de Controle Ambiental e Urbanístico de Campo Grande (Semur).

Para o levantamento do comportamento real do sistema, três medidores de pressão foram instalados na rede de distribuição de água (figura 4.27) e um medidor de vazão na saída do reservatório do sistema (figura 4.26). A figura 4.29 apresenta os dados obtidos em campo (série observada) juntamente com os dados obtidos através de simulação (Epanet). Nele é possível observar que há um incremento de vazão que não está sendo considerado na modelagem.

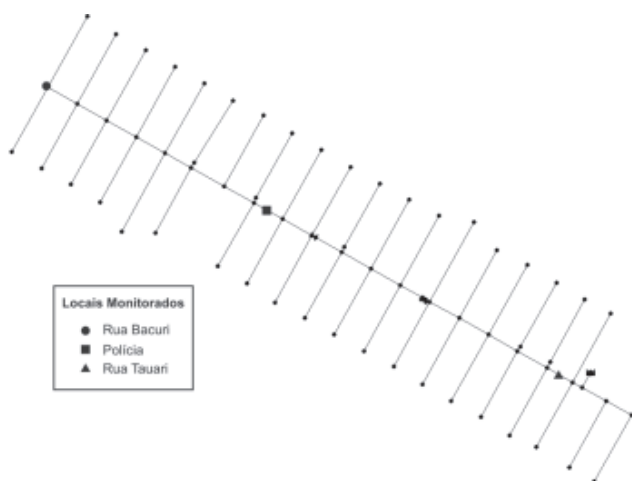



Figura 4.28 Modelo representativo do setor piloto

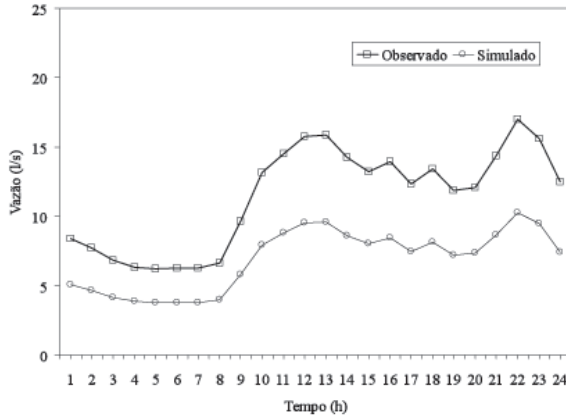



Figura 4.29 Séries de vazões observada e simulada

A figura 4.30 mostra o padrão de consumo horário referente ao setor analisado. O padrão foi obtido através da medição da vazão na saída do reservatório. O gráfico representa um padrão de consumo típico, com dois picos de vazão característicos, um às 9h e outro às 19h, e mínimas noturnas localizadas entre 2 e 4 horas da madrugada.

O volume de água diário micromedido no setor foi de 640 m^3, o que representa uma quota *per capita* média de q = 98 L.hab.dia. Para o setor piloto, as vazões média e máxima são iguais a 11,44 L.s e 17,03 L.s, respectivamente. O coeficiente da hora de maior consumo k_2 calculado para o sistema foi igual a 1,49. Comparando com a NBR

Figura 4.30 Curva padrão de consumo

9649, o valor de k_2 recomendado para o dimensionamento de redes de água é igual a 1,5, que é muito próximo ao valor encontrado no setor.

4.3.6 Calibração do modelo

A aplicabilidade dos modelos computacionais que simulam o comportamento hidráulico das redes de distribuição depende da confiabilidade dos dados de entrada. Partindo do pressuposto de que o cadastro e o consumo estão corretos, os erros nas simulações são atribuídos aos parâmetros hidráulicos: rugosidade das tubulações e parâmetros de vazamentos (coeficientes emissores e expoentes). Um procedimento simples que se faz para saber se o modelo representa a situação de funcionamento real é comparar os dados observados em campo com aqueles simulados com o modelo. Os valores observados são obtidos pela instalação de equipamentos de medição em alguns pontos do sistema. Em grande parte dos casos, quando as séries observadas e simuladas são comparadas, constata-se que existem diferenças significativas (figura 4.29). Esses desvios estão associados aos parâmetros físicos do sistema que mudam ao longo do tempo e se transformam em fontes de incertezas. A idéia então é ajustar os parâmetros variáveis do sistema (rugosidades, demandas, coeficientes do modelo pressão-vazamento) no sentido de forçar que os valores simulados se aproximem daqueles observados em campo.

4.3.6.1 Epanet Calibrator – tecnologia desenvolvida no Prosab

O projeto da UFMS desenvolveu uma nova funcionalidade ao software Epanet, denominado Epanet Calibrator, para possibilitar a calibração de modelos. A calibração de um modelo de rede pode ser definido como o processo de ajuste dos dados de um modelo matemático com intuito de aproximar os resultados produzidos pelo modelo aos dados observados em campo. Recomenda-se adotar a calibração nos estudos de planejamento de curto prazo, operacionais, para definir respostas de emergência e de gerenciamento de energia, entre outros. É um procedimento que pode encontrar:

- erros nos dados de entrada do modelo;
- erros na estimação de demandas;
- erros de modelagem;
- estimativas para as rugosidades de tubulações;
- elevações topográficas;
- singularidades do sistema (registros desconhecidos, válvulas desreguladas);
- anomalias geométricas;
- curvas de bombas desatualizadas;
- erros nas medições hidráulicas (vazão e pressão).

Em geral, a calibração de um modelo de rede, descrito por Cheung (2001), pode ser dividida em cinco etapas:

1. obter dados cadastrais (consulta de informações) referentes às características geométricas das tubulações (diâmetros, rugosidades, comprimento e material) e características dos componentes (válvulas e bombas), elevações topográficas, consumos das quadras, incidência de vazamentos, dentre outros;

2. simplificar a rede desconsiderando diâmetros menores que 150 mm, salvo algumas exceções (ponta de rede, proximidades de reservatórios, mudança de diâmetro, dentre outras);

3. dividir a rede em setores homogêneos em termos das rugosidades e parâmetros do modelo de vazamentos, de forma que as estimativas para cada setor de rede correspondam a um fator de ajuste global desse setor;

4. instalar medidores de pressão e vazão (medidas preliminares de campo) na rede de forma a armazenar tais dados, simultaneamente com as informações relativas aos níveis dos reservatórios;

5. simular a rede (análises por meio de computador) utilizando os dados coletados para obter valores das variáveis de estado (pressão e vazão) e compará-las (modelo de calibração) com os dados reais obtidos em campo. Se o ajuste é aceitável, a calibração é finalizada; caso contrário, volta-se à etapa de simulação ajustando (por algum processo de otimização) novos valores para os parâmetros e assim por diante, até que a convergência seja satisfeita.

Realizou-se a calibração do modelo utilizando os dados adquiridos durante campanha de campo para o setor piloto da cidade de Campo Grande. Os dados de pressão foram armazenados nos *dataloggers* por um período de 24h. Os resultados da calibração podem ser vistas na figura 4.31. O primeiro gráfico mostra a calibração da vazão na saída do reservatório. Os outros gráficos são os resultados da calibração dos três pontos de pressão monitorados. A curva *Calibrado Global* refere-se à calibração utilizando o expoente de vazamento (expoente do nó emissor) com valor 0,5 para toda a rede, enquanto o *Calibrado Local* representa os dados calibrados com o expoente variável para cada nó (ver Quadro 4.7– alfa).

4.3.7 Parâmetros de vazamentos

Os resultados dos parâmetros obtidos na calibração encontram-se no Quadro 4.7. Foi adotado o valor de 0,0015 para a rugosidade com a utilização da equação de perdas de Darcy-Weisbach. Este é o valor utilizado para tubulações de PVC novas. Tanto a ca-

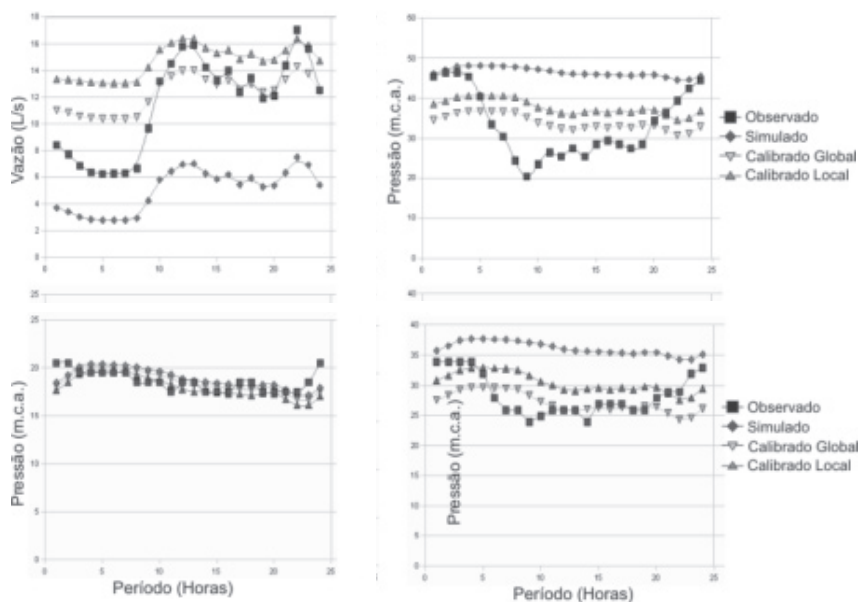



Figura 4.31 Resultado da calibração no setor de estudo

libração global quanto local encontrou os mesmos valores para o parâmetro (Quadro 4.7). Estes valores foram semelhantes aos do modelo teórico com exceção da tubulação de ID 3 e 22. Para a calibração global, adotou-se 0,5 para o valor do expoente de vazamentos. Para a calibração local, os valores dos expoentes encontrados encontram-se no Quadro 4.7. O coeficiente de vazamento C apresentou resultados muito distintos nos dois métodos de calibração. Os valores de C encontrados na calibração local encontram-se mais próximos dos valores teóricos. Os valores de C na calibração local foram maiores do que os locais. Matematicamente esse comportamento é explicado devido à falta de compensação nos valores dos expoentes, pois os mesmos são constantes e de valor menor no caso da calibração global.

Finalizada a etapa de calibração dos dados, utilizou-se o Resan Tools para a simulação e extração dos valores de vazão e vazamento simulados. O Resan Tools é um aplicativo desenvolvido pelo LENHS UFMS, criado para complementar e adicionar novas funcionalidades ao Epanet. Para facilitar a visualização dos nós que possuem alto valor de expoentes emissores e para delimitar regiões por áreas de vazamento, foi desenvolvido um novo *software* que desenha redes do Epanet destacando os nós semelhantes. O resultado visual da calibração utilizando o novo *software* pode ser visto na figura 4.32.

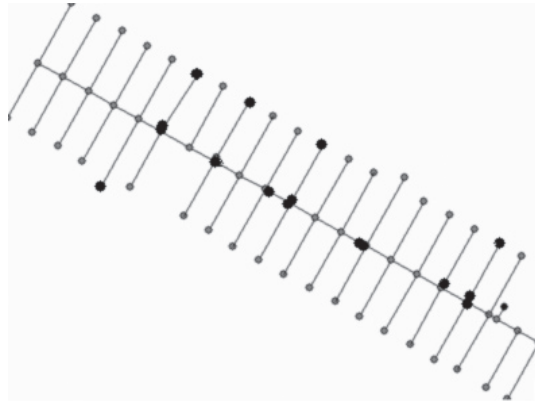



Figura 4.32 Mapa de vazamento, com nós em preto representando locais com possíveis problemas

Tabela 4.7 > Parâmetros obtidos na calibração

	TEÓRICO	GLOBAL	LOCAL			TEÓRICO	GLOBAL	LOCAL
ID Nó	C	C	C	Alfa	ID Pipe	Rugosidade	Rugosidade	Rugosidade
3	0	2.679		0.5	16	0.0015	0.26	0.26
22	0	2.679		0.5	17	0.0015	0.26	0.26
23	0	2.679		0.5	27	0.0015	0.0015	0.0015
33	0	2.5711		0.5	28	0.0015	0.0015	0.0015
34	0	2.5711		0.5	29	0.0015	0.0015	0.0015
35	0	2.5711		0.5	30	0.0015	0.0015	0.0015
36	0	3.9412		0.5	31	0.0015	0.0015	0.0015
37	0	3.9412		0.5	32	0.0015	0.0015	0.0015
38	0	3.9412		0.5	33	0.0015	0.0015	0.0015
39	0	1.2238		0.5	34	0.0015	0.0015	0.0015
40	0	1.2238		0.5	35	0.0015	0.0015	0.0015
41	0	2.3793		0.5	36	0.0015	0.0015	0.0015
42	0	2.3325	0.01	0.88	40	0.0015	0.0015	0.0015
43	0	2.3325		0.5	48	0.0015	0.0015	0.0015
44	0	2.3325	0.01	0.88	49	0.0015	0.0015	0.0015
45	0	0.5492		0.5	50	0.0015	0.0015	0.0015
46	0	0.5492		0.5	51	0.0015	0.0015	0.0015
47	0	0.5492		0.5	52	0.0015	0.0015	0.0015
52	0	3.458	0.01	0.88	53	0.0015	0.0015	0.0015

53	0	2.2195		0.5	54	0.0015	0.0015	0.0015
63	0	1.362	0.01	0.88	55	0.0015	0.0015	0.0015
64	0	1.362	0.01	0.88	56	0.0015	0.0015	0.0015
65	0	2.0501	0.01	0.88	57	0.0015	0.0015	0.0015
66	0	2.0501	0.01	0.88	58	0.0015	0.0015	0.0015
67	0	0.038	0.01	0.88	61	0.0015	0.0015	0.0015
68	0	0.038	0.01	0.88	62	0.0015	0.0015	0.0015
69	0	0.0334	0.01	0.88	63	0.0015	0.0015	0.0015
70	0	0.0334	0.01	0.88	64	0.0015	0.0015	0.0015
71	0	1.8457	0.01	0.88	65	0.0015	0.0015	0.0015
72	0	1.0728	0.01	0.88	66	0.0015	0.0015	0.0015
73	0	1.5974	0.01	0.88	67	0.0015	0.0015	0.0015
74	0	0.3925	0.01	0.88	68	0.0015	0.0015	0.0015
75	0	4.5777	0.01	0.88	69	0.0015	0.0015	0.0015
76	0	0.1262	0.01	0.88	70	0.0015	0.0015	0.0015
77	0	0.1156	0.01	0.88	71	0.0015	0.0015	0.0015
78	0	3.2638	0.01	0.88	72	0.0015	0.0015	0.0015
79	0	0.1262	0.01	0.88	73	0.0015	0.0015	0.0015
83	0	1.4802	0.01	0.88	74	0.0015	0.0015	0.0015
84	0	3.8487	0.01	0.88	75	0.0015	0.0015	0.0015
85	0	2.3352	0.01	0.88	76	0.0015	0.0015	0.0015
86	0	1.2276	0.01	0.88	77	0.0015	0.0015	0.0015
87	0	2.3677	0.01	0.88	78	0.0015	0.0015	0.0015
88	0	4.7096	0.01	0.88	102	0.0015	0.0015	0.0015
89	0	1.9544	0.01	0.88	103	0.0015	0.0015	0.0015
90	0	2.8126	0.01	0.88	104	0.0015	0.0015	0.0015
91	0	3.458	0.01	0.88	105	0.0015	0.0015	0.0015
92	0	3.319	0.01	0.88	124	0.0015	0.0015	0.0015
93	0	4.346	0.01	0.88	131	0.0015	0.0015	0.0015
94	0	4.346	0.01	0.88	132	0.0015	0.0015	0.0015
95	0	3.3993	0.01	0.88	133	0.0015	0.0015	0.0015
96	0	3.3993	0.01	0.88	156	0.0015	0.0015	0.0015
97	0	2.8076	0.01	0.88	157	0.0015	0.0015	0.0015
98	0	2.8076	0.01	0.88	158	0.0015	0.0015	0.0015
99	0	0.0655	0.01	0.88	163	0.0015	0.0015	0.0015
100	0	3.0436	0.01	0.88	164	0.0015	0.0015	0.0015
101	0	1.9331	0.01	0.88	165	0.0015	0.0015	0.0015
102	0	2.3793	0.01	0.88	166	0.0015	0.0015	0.0015

103	0	2.4962	0.01	0.88	167	0.0015	0.0015	0.0015
104	0	2.4962	0.01	0.88	168	0.0015	0.0015	0.0015
105	0	3.3599	0.01	0.88	169	0.0015	0.0015	0.0015
106	0	2.176	0.01	0.88	170	0.0015	0.0015	0.0015
107	0	1.3211	0.01	0.88	171	0.0015	0.0015	0.0015
108	0	2.176	0.01	0.88	172	0.0015	0.0015	0.0015
109	0	1.0186	0.01	0.88	173	0.0015	0.0015	0.0015
142	0	1.9544	0.01	0.88	174	0.0015	0.0015	0.0015
143	0	2.3677	0.01	0.88	175	0.0015	0.0015	0.0015
144	0	2.3352	0.01	0.88	176	0.0015	0.0015	0.0015
145	0	1.4802	0.01	0.88	177	0.0015	0.0015	0.0015
163	0	0.1262	0.01	0.88	4	0.0015	0.0015	0.0015
6	0	4.6461		0.5	1	0.0015	0.0015	0.0015
7	0	2.679		0.5				

4.3.8 Experiência Prosab – Unifei

Atualmente, algoritmos baseados em processos inteligentes de busca vêm sendo utilizados com sucesso, com amplas possibilidades de aplicação em várias áreas de conhecimento, devido à facilidade de implementação e a quase ilimitada condição de aplicabilidade de seus recursos (GALVÃO & VALENÇA, 1999). Técnicas de "inteligência artificial", como os algoritmos genéticos, Redes Neurais e Lógica Fuzzy são métodos de otimização que têm se mostrado especialmente adequados para tratar problemas complexos como os relativos aos sistemas de distribuição de água. Apresentam vantagens sobre as técnicas de otimização convencionais quanto à possibilidade de analisar diretamente possibilidades de soluções e, por isso, chegam a soluções com alto desempenho quanto aos critérios múltiplos definidos pelo problema (SOARES & REIS, 2005; SILVA *et al.*, 2003).

As redes neurais artificiais, que foi a técnica utilizada no projeto desenvolvido no Prosab pela equipe da Unifei, consistem em um método de solucionar problemas de inteligência artificial, construindo um sistema que tenha circuitos que simulem o cérebro humano, inclusive seu comportamento, ou seja, aprendendo, errando e fazendo descobertas. Mais que isso, são técnicas computacionais que apresentam um modelo inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento pela experiência. Uma grande rede neural artificial pode ter centenas ou milhares de unidades de processamento, enquanto o cérebro de um mamífero pode ter muitos bilhões de neurônios.

O funcionamento do neurônio biológico pode ser interpretado como um circuito de entradas binárias combinadas por uma soma ponderada (com pesos), produzindo uma entrada efetiva. No modelo neurônio artificial (figura 4.33) as entradas Xi e pesos Wi são combinadas usando uma função F, para produzir um estado de ativação do neurônio (correspondente à frequência de descarga do neurônio biológico). As entradas chegam através dos dentritos e tem um peso atribuído pela sinapse. A função básica de um neurônio é somar as entradas e retornar uma saída, caso esse valor seja maior que o valor de soma (*threshold*).

A rede neural artificial é um conjunto de neurônios ligados por conexões sinápticas e dividido em neurônios de entrada, que recebem estímulos do meio externo, neurônios internos ou *hidden* (ocultos) e neurônios de saída, que se comunicam com o exterior. A forma de arranjar neurônios em camadas é denominada *multilayer perceptron* e foi concebida para resolver problemas mais complexos, os quais não poderiam ser resolvidos pelo modelo de neurônio básico. Os neurônios internos são de suma importância na rede neural, pois se provou que, sem estes, torna-se impossível a resolução de problemas linearmente não separáveis. Em outras palavras, pode-se dizer que uma rede é composta por várias unidades de processamento, cujo funcionamento é bastante simples. Essas unidades, geralmente são conectadas por canais de comunicação que estão associados a determinado peso. As unidades fazem operações apenas sobre seus dados locais, que são entradas recebidas pelas suas conexões. O comportamento inteligente de uma Rede Neural Artificial vem das interações entre as unidades de processamento da rede.

A maioria dos modelos de redes neurais possui alguma regra de treinamento, em que os pesos de suas conexões são ajustados de acordo com os padrões apresentados; elas aprendem por exemplos. Arquiteturas neurais são tipicamente organizadas em camadas, com unidades que podem estar conectadas às unidades da camada posterior.

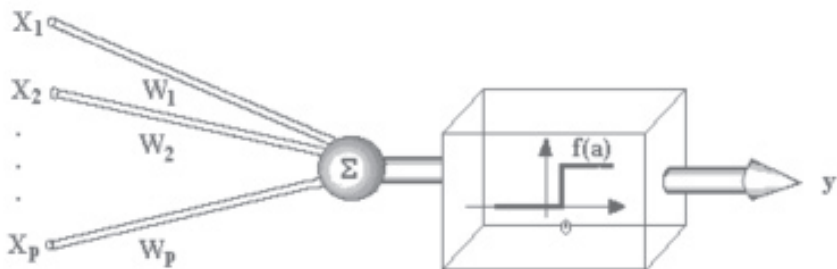



Figura 4.33 Modelo de neurônio artificial

A rede neural passa por um processo de treinamento com base nos casos reais conhecidos, adquirindo, a partir daí, a sistemática necessária para executar adequadamente o processo desejado dos dados fornecidos. Sendo assim a rede neural é capaz de extrair regras básicas a partir de dados reais, diferindo da computação programada, em que é necessário um conjunto de regras rígidas pré-fixadas e algoritmos.

Usualmente as camadas são classificadas em três grupos (figura 4.34):

- Camada de Entrada: onde os padrões são apresentados à rede;
- Camadas Intermediárias ou Ocultas: onde é feita a maior parte do processamento, através das conexões ponderadas; podem ser consideradas como extratoras de características;
- Camada de Saída: onde o resultado final é concluído e apresentado. Redes neurais são também classificadas de acordo com a arquitetura em que foram implementadas, topologia, características de seus nós, regras de treinamento, e tipos de modelos.

Para o caso de controle de bombas centrífugas, a técnica de redes neurais foi utilizada para realizar a estimativa do campo básico de operação da bomba, ou seja, o gráfico que relaciona as condições operacionais: altura manométrica, vazão e rendimento. Um exemplo de campo básico é apresentado na figura 4.35, para uma bomba centrífuga de 15 CV. Uma vez conhecido o campo básico, pode-se utilizá-lo para operar a bomba buscando-se o menor consumo de energia em conjunto com o atendimento das condições de demanda e os limites operacionais do sistema.

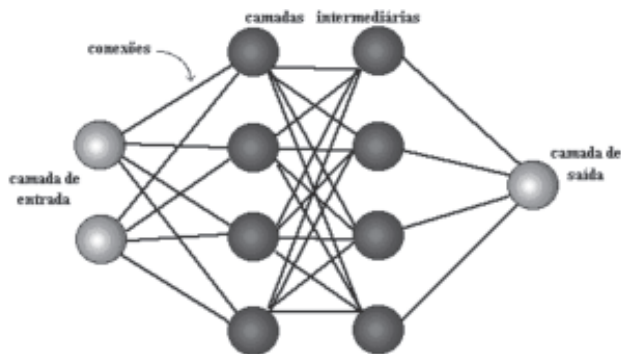



Figura 4.34 Rede neural organizada em camadas.

A estimativa do campo básico se faz necessário porque o mesmo não é fornecido pelos fabricantes de bombas. O campo básico é composto pelas diversas curvas da bomba, cada uma delas para uma rotação diferente, além dos respectivos valores de rendimento (figura 4.35). Entretanto os gráficos fornecidos pelos fabricantes são compostos por curvas para diferentes diâmetros que, embora tenham comportamentos similares, não atendem às necessidades de um sistema de controle energeticamente eficiente.

As redes neurais artificiais podem ser usadas para suprir a falta de informações sobre o campo básico nos dados dos fabricantes de bombas. Para isso, se pode explorar as características de similaridade das máquinas hidráulicas, ou seja, as redes neurais podem ser treinadas para construir o campo básico de bombas hidráulicas semelhantes. Uma das formas de avaliar a similaridade das bombas hidráulicas é por sua rotação específica (nq_a), que indica o tipo de rotor da bomba, seja centrífugo, axial ou misto. Assim a informação sobre a rotação específica pode ser fornecida à rede neural, que fará a estimativa com base nas bombas semelhantes para as quais foi treinada.

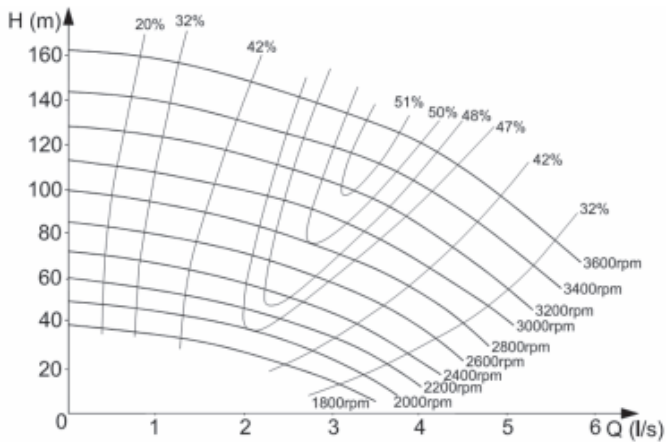



Figura 4.35 Campo básico de operação de uma bomba centrífuga

Nesse trabalho do Prosab foi realizada uma avaliação desse procedimento, por meio do treinamento de redes neurais artificiais com os dados de duas bombas centrífugas reais, cujos campos básicos foram obtidos por ensaios nos laboratórios da Unifei. A que será denominada bomba 1 possui 15 CV de potência, 4 estágios, altura nominal de 113,4 mca e vazão nominal de 15,73 m^3.h. O campo básico da bomba 1 é apresentado na figura 4.35. A bomba 2 possui 40 CV de potência e pertence ao circuito hidráulico do Laboratório Hidráulico Didático Científico (LHDC) da Unifei.

Para essas simulações definiram-se como variáveis de entrada a vazão (*Q*) e a altura manométrica (*H*), tendo como saídas a rotação (*n*) e o rendimento (*rend*). A rede neural utilizada foi do tipo *back-propagation*, cuja estrutura pode ser definida previamente, mas o *software* permite a definição de forma automática, em função da característica dos dados utilizados.

Os procedimentos para simulação dos campos básicos pelas RNA seguiram os seguintes passos: *i*) treinamento da rede com os dados observados e definição de cinco arquiteturas diferentes de rede; *ii*) simulação das redes obtidas e formatação dos dados de saídas; *iii*) geração de superfícies tridimensionais *Q x H x Rend*, e *Q x H x n* para as cinco melhores redes simuladas; *iv*) determinação da melhor das cinco redes, com base no menor erro médio entre dados observados e calculados; *v*) geração do campo básico de operação da bomba, para a melhor das cinco redes testadas.

Na Figura 4.36 são apresentadas as arquiteturas das RNA obtidas para a bomba 1 (figura 4.36a) e bomba 2 (figura 4.36b). Na tabela 4.9 são apresentados os resultados de comparações realizadas entre dados observados e calculados da bomba 1, para a melhor rede escolhida. Observa-se que, com exceção de um dos pontos, os erros são bastante baixos. Na forma gráfica, os resultados para a bomba 1 podem ser observados na figura 4.37, onde, com o auxílio de um editor de imagens, criou-se a representação de seu campo básico gerado pela RNA. Para a bomba 2 os resultados são bastante semelhantes aos obtidos com a bomba 1. Na figura 4.38 mostra-se o campo básico de operação para a bomba 2, gerado por meio da RNA ajustada.

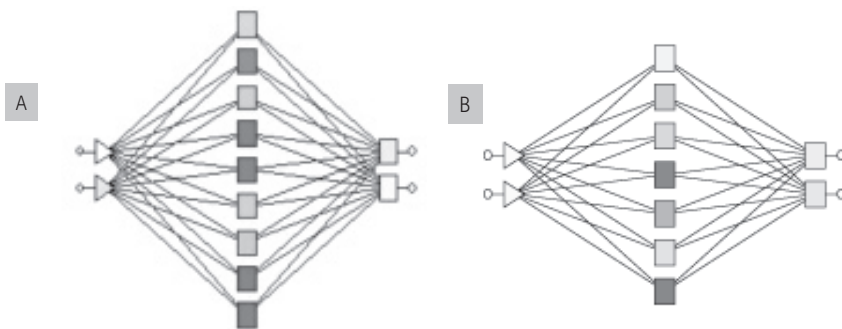



Figura 4.36 Arquitetura das cinco melhores redes testadas: (a) bomba 1; (b) bomba 2

A estimativa do campo básico de operação da bomba através de redes neurais artificiais é uma metodologia que pode ser incorporada ao sistema de controle da bomba, de forma que o modelo de operação seja capaz de prevê-lo com relativa precisão, mesmo sem que este seja previamente conhecido. Isso pode ser realizado a partir de algumas características da bomba, definidas por similaridade hidráulica.

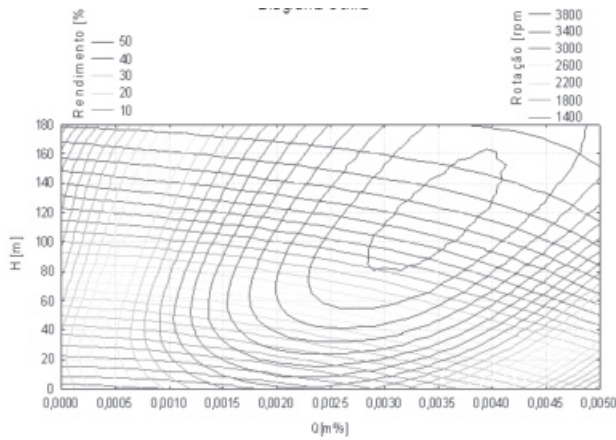



Figura 4.37 Campo básico de operação gerado pela RNA

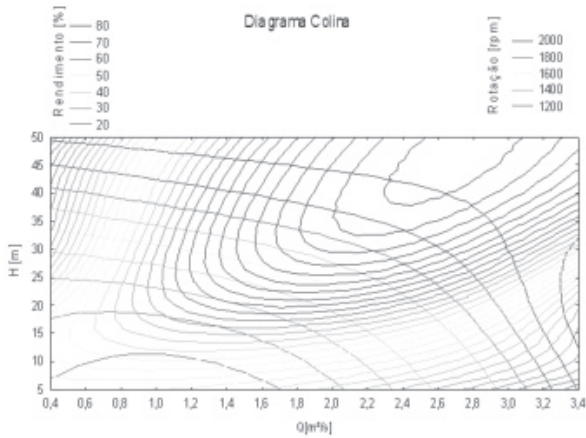



Figura 4.38 Campo básico de operação gerado por RNA para a bomba 2

Um exemplo dos efeitos de aplicação do campo básico de operação no controle da bomba é apresentado no Capítulo 3 deste livro, por meio de uma simulação do sistema Vista Verde da cidade de Itajubá-MG, que possui uma bomba idêntica à bomba 1. Conforme descrito no Capítulo 3, esse sistema foi simulado empregando-se quatro controles distintos: regulagem por válvula, variação da rotação, variação da rotação combinado com regulagem da válvula e sistema liga-desliga.

A figura 4.39 apresenta a variação do consumo de energia por cada método. Nota-se que o método tradicional de ligar e desligar a bomba apresentou baixo consumo, mas deve-se salientar que existem diversos problemas no processo de religar o motor elétrico, que pode gerar muito desgaste aos sistemas hidráulico e elétrico. Nota-se também que há um pequeno ganho quando se utiliza o controle da válvula combinado com a rotação, mostrando que a consideração do rendimento através do campo básico é fundamental na determinação do ponto ótimo de operação. Nesse caso o ganho energético foi pequeno, mas, dependendo da configuração do sistema e das características da bomba, isso poderá ser mais significativo.

A figura 4.40 mostra a variação do rendimento da bomba, em que se observa que no controle por válvula a bomba trabalha sempre com rendimento mais baixo. No controle liga-desliga o rendimento é sempre elevado, uma vez que a bomba trabalha sempre próxima de seu ponto nominal.

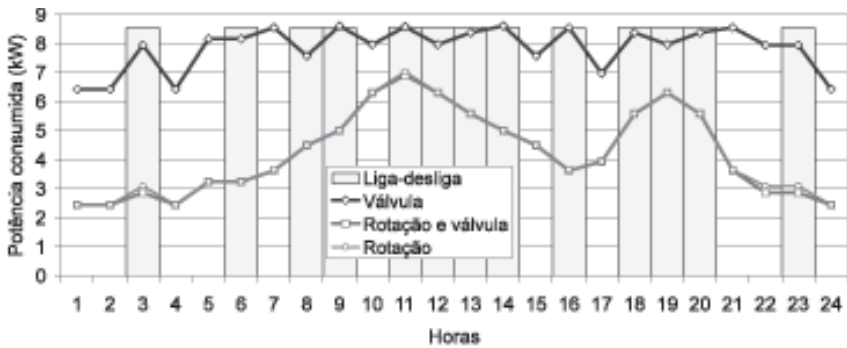



Figura 4.39 Variação do consumo de energia pela bomba

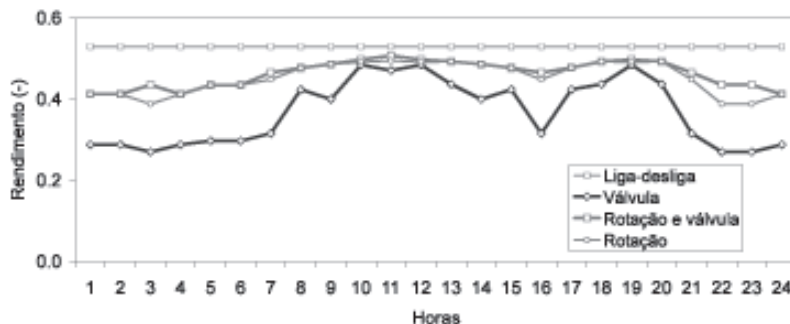



Figura 4.40 Variação do rendimento da bomba

Tabela 4.8 > Comparação entre pontos gerados através da rede neural e os dados originais da bomba 1

DADOS OBSERVADOS				SIMULAÇÃO		ERRO	
Q (l/s)	**H (m)**	**n (rpm)**	**Rend (%)**	**n (rpm)**	**Rend (%)**	**n (rpm)**	**Rend (%)**
0,00307	13,05	1800	32	1815,145	21,11769	0,83%	-51,53%
0,00279	28,04	2000	42	2037,950	41,88429	1,86%	-0,28%
0,00242	42,75	2200	47	2190,955	47,09557	-0,41%	0,20%
0,00042	71,32	2400	20	2405,054	20,25303	0,21%	1,25%
0,0023	69,12	2600	48	2579,008	48,33576	-0,81%	0,69%
0,00284	75,36	2800	50	2780,986	48,75500	-0,68%	-2,55%
0,00414	64,55	3000	42	3028,019	41,61633	0,93%	-0,92%
0,00327	99,63	3200	51	3208,437	49,14258	0,26%	-3,78%
0,00249	126,08	3400	47	3413,882	46,74903	0,41%	-0,54%
0,00361	128,96	3600	53	3576,820	49,40011	-0,65%	-7,29%

Referências bibliográficas

ALEGRE, H.;*et al.* Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição. *Série Guias Técnicos*, n. 3, Lisboa: Ed. Irar, 2005.

ANNECCHINI, K. P. V.; ABREU, P. P. C.; LABEGALINI, M. S. *Comportamento de setores controlados por válvulas redutoras de pressão (VRPs) na região metropolitana da grande Vitória-ES.* In: 24º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Belo Horizonte, 2007.

BALMASEDA, C.; CABRERA, E. *Criterios técnicos y económicos para el mantenimiento, rehabilitación y renovación de redes. Grupo Mecánica de Fluidos - Instituto Tecnológico del Agua.* In: CURSO: MEJORA DEL RENDIMIENTO HIDRÁULICO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

ATRAVÉS DEL CONTROL DE FUGAS, MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN. Valencia, España, 2001.

BIO: REVISTA BRASILEIRA DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE. *O Saneamento em números.* Rio de Janeiro: ano XI, n. 17, jano/mar 2001.

CASSIANO FILHO A.; TSUTIYA M. T. Economia nos Custos de Energia Elétrica em Obras Sanitárias Através da Escolha Adequada das Tarifas. *Revista DAE*, n. 168, p. 820, 1992.

CHEUNG, P.B. *Investigação dos métodos Clássicos de Calibração de Redes Hidráulicas.* 132 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2001.

COVAS, D.; RAMOS, H. *A Utilização de Válvulas Redutoras de Pressão no Controlo e Redução de Fugas em Sistemas de Distribuição de Água.* In: VII ENCONTRO NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO, Proceedings... Barcelos, Portugal: Pub. APSB, 1998.

COVAS, D.; RAMOS, H. Minimização de Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento. In: GOMES, H. P.; GARCIA, R. P.; REY, P. L. I. (Org.). *Abastecimento de água*: O estado da arte e técnicas avançadas. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2007. p. 103-122.

DTA A2. Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água. *Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água.* Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana, 1998.

ELETROBRÁS/PROCEL. *Plano de ação Procel Sanear 2006/2007.* Set, 2005.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Drinking water infraestructura needs survey. *First report to the Congress.* Washington D.C., USA: Office of Water, EPA 812, r. 97-001, Jan, 1997.

EUROPUMP; HYDRAULIC INSTITUTE. *Variable speed pumping*: A guide to successful applications. Great Britain: Elsevier Ltd. Cornwall, 2004. 172 p.

FRANCO, A. B. *Estratégia integrada de combate às perdas de água na rede de distribuição da cidade de Lisboa.* In: 18º SALÓN INTERNACIONAL DEL AGUA, Zaragoza, 2008.

GALVÃO, C.O., VALENÇA, M.J.S. (Org.) *Sistemas Inteligentes:* Aplicações a Recursos Hídricos e Ciências Ambientais. Porto Alegre-RS: Editora da Universidade/UFRGS/1999. 246 p.

GOMES, H. P. *Eficiência hidráulica e energética em saneamento*: análise econômica de projetos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (Abes), 2005. 114 p.

GOMES, H. P.; BEZERRA, S.T.M. Reabilitação de Sistemas de Distribuição de Água. In:

GOMES, H. P.; GARCIA, R. P.; REY, P. L. I. (Org.). *Abastecimento de água*: O estado da arte e técnicas avançadas, João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, p. 103-122, 2007.

GOMES, H.P. *Sistema de abastecimento de água*: dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias. 3ª ed. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2009.

HIRNER, W. *Rehabilitation methods in Germany.* In: DEVELOPMENT OF WATER INDUSTRY MANAGERS/REHABILITATION OF MAINS AND PIPELINES, Berlin: 11/14 abr, 1989. Disponível em: <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?Isis>.

JAMES, K. *et. al.* Água e Energia: Aproveitando as oportunidades de eficientização de água e ener-

gia não exploradas nos sistemas municipais. *Aliança para Conservação de Energia.*, 2002. 159 p.

PROCEL SANEAR. *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica no Setor de Saneamento*. Disponível em: <http://www.eletrobras.com/procel/site/areadeatuacao/saneamento>. Acesso em: 15 ago, 2008.

PROCEL *et al. Chamada Pública de Projetos de Conservação e Uso Racional de Energia Elétrica e Água no Setor de Saneamento Ambiental*. Brasília, 2003.

ROSSMAN, L. A. *Epanet 2*: Users Manual. U.S., Cincinnati, Ohio: Environmental Protection Agency (EPA), 2000.

SARON, A. Gerenciamento de Energia na ETA Guaraú: Redução de Custos para a Empresa, Economia de Energia Elétrica para o País. *Revista Saneas*, n· 9. São Paulo: Aesabesp, set 1998.

SILVA, F.G.B.. *et al. Modelo de Calibração de Rede de Distribuição de Água Considerando Fugas*: Estudo de Caso do Setor Real Monte Carlo. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Anais em CD, Curitiba: ABRH, 2003.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, Parte 1, Texto. *Visão geral de prestação de serviços.*. Brasília: Ministério das Cidades, 2007.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO EM SANEAMENTO (SNIS). *Programa de Modernização do Setor Saneamento*. Disponível em: <http://www.snis.gov.br> Brasília, 2003.

SOARES, A.K.; REIS, L.F.R. *Calibração de Modelos de Redes de Distribuição de Água a partir de Condições Transitórias*. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Anais em CD. João Pessoa: ABRH, 2005.

TARDELLI FILHO, J. Controle e redução de perdas. In: *Abastecimento de Água*. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004. Cap. 10.

TSUTYIA, M. T. *Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água*. São Paulo: Abes-SP, 2001. 185 p.

WRC. *Leakage Control, Policy and Practice. Engineering and Operations Committee*. Rep. n. 29, 1985.

Notas

1 Os conversores consomem, em geral, de 2% a 6% da potência do sistema, ou seja, possuem uma eficiência de 94 % a 98%.

5 Tecnologias de conservação em sistemas prediais

Wolney Castilho Alves, Asher Kiperstok, Luciano Zanella, Luiz Sergio Phillipi, Maria Fernanda Lopes dos Santos, Renata Spinassé Della Valentina, Laila Vaz de Oliveira , Ricardo Franci Gonçalves

Neste capítulo são abordadas as tecnologias envolvidas com o manejo de água e energia no edifício no meio urbano, buscando respeitar os princípios relativos à sustentabilidade ambiental em que a conservação de água e energia tem papel relevante.

Apresentam-se as principais formas sob as quais a conservação de água e energia a ela associada podem ser exploradas. Apresenta-se modelo de programas de conservação em edifícios, descrevem-se tecnologias usadas na conservação e apresentam-se estudos e experiências desenvolvidas no âmbito do Prosab 5 pela rede temática 5. Incluem-se aspectos relativos à quantidade e à qualidade de água utilizada envolvendo o reúso de águas cinza, o aproveitamento de águas pluviais, a medição individualizada e os projetos visando à conservação de banheiros públicos.

5.1 Conceitos e informações preliminares

O olhar é voltado sobre as instalações hidrossanitárias e sua relação com o consumo energético. Ou seja, analisam-se tecnologias de conservação envolvidas com o uso e manejo de águas, seu esgotamento ou reciclo e o consumo de energia associado. Privilegia-se o foco sobre edifícios de uso residencial, embora muitos conceitos e muitas tecnologias possam ser aplicadas ou adaptadas para edificações de uso diverso.

Como regra geral a conservação de água deve implicar em benefícios líquidos positivos. Considera-se que o benefício líquido é positivo quando a agregação de todos

os ganhos de uma ação ou de um programa de conservação excede a agregação de todos os efeitos adversos (custos e benefícios negativos) ocasionados por ela. Adicionalmente, a conservação de água não pode ser focada unilateralmente, a despeito dos demais recursos. Dessa forma, se a conservação de um recurso implica na dilapidação de outro, não existe uma ação verdadeiramente conservacionista (BAUMANN *et al.*, 1984 *apud* MONTENEGRO & SILVA, 1987).

Complementarmente ao parágrafo anterior, alerta-se também para o fato de que a elaboração de balanços globais para aferição do grau de *sustentabilidade*, com base em ações conservacionistas de água e energia em edificações, encontra dificuldades no plano teórico e prático, pois não se dispõe de modelos abrangentes e consensualmente aceitos para realizar tais balanços. Dessa forma, neste texto as avaliações restringem-se às ações de conservação de água e energia na edificação. A ampliação e o aprofundamento das teorias subjacentes a abordagens mais compreensivas são desenvolvidas no Capítulo 6 e constituem campo promissor de pesquisas.

Com referência à conceituação e terminologia básica trabalha-se aqui com aquelas apresentadas nos capítulos precedentes e na obra anteriormente editada com base nas pesquisas da rede temática 5 do edital Prosab 4 (GONÇALVES, 2006). Particularmente tem importância para aplicação neste capítulo os termos e conceitos apresentados nos Capítulos 2 e 3.

A aplicação de tecnologias conservacionistas e o grau do sucesso possível das intervenções têm contornos demarcados pela situação histórica ou estágio em que se encontra a edificação, entre outros condicionantes. Levam-se em conta no presente texto as edificações existentes e as sob projeto. Também deve ser considerado o contexto urbano local, as diretivas de dimensão regional, bem como aspectos comportamentais. Chama-se atenção, assim, para a necessidade de adequação de soluções tecnológicas e contextos de aplicação.

Cumpre observar também que, exceto nos casos de menção explícita em contrário, as tecnologias apresentadas têm como pano de fundo um meio urbano convencional, ou seja, dotado de infraestruturas de distribuição de água potável, coleta, afastamento e tratamento de esgoto ou sistemas locais de esgotamento sanitário, bem como redes convencionais de distribuição de energia elétrica.

Trabalha-se neste capítulo sobre o gerenciamento de águas no nível micro, segundo a conceituação de Silva *et al.* (1999), expandido-se as intervenções para os campos da **gestão de demanda e da oferta quaisquer sejam as qualidades das águas consumidas no edifício**. As amplas possibilidades de programas e ações de conservação de água que essa abordagem encerra merecem, no entanto, uma reflexão no sentido de verificar limitações, conforme se verá na sequência.

A prática conservacionista se desenvolveu principalmente sobre o campo da quantidade de água potável. Entretanto é notório que nos usos residenciais, por exemplo, a potabilidade é basicamente exigível para ingestão, preparo de alimentos e procedimentos higiênicos específicos. Manter as ações conservacionistas somente sobre o consumo de água potável limita bastante o alcance da conservação e encerra um equívoco conceitual. Dessa forma, o consumo de águas de qualidades diversas, que atendam cada um dos demais usos que não demandam a potabilidade, deve ser incorporado às ações de conservação. Tal asserção justifica-se porque o consumo de água não potável implica na diminuição do volume de água bruta que seria segregada ou reservada visando à potabilização, ou ainda, porque permite disponibilizar o volume poupado de água potável para atender demandas que não estariam sendo atendidas sem a ação conservacionista. Ou, de maneira mais abrangente e genérica: independentemente da água ser potável ou não, importa empregar a água de maneira a mais eficiente possível.

Cabe analisar, entretanto, alguns aspectos práticos relativos às qualidades das águas no uso residencial. O diagrama da figura 5.1 ilustra de maneira bastante genérica a relação entre uso e qualidade da água, da fonte ao destino. Busca-se, a partir desse esquema, explorar o conjunto de possibilidades de configurações de sistemas prediais que decorrem da aplicação de ações conservacionistas considerando quantidade e qualidade de águas.

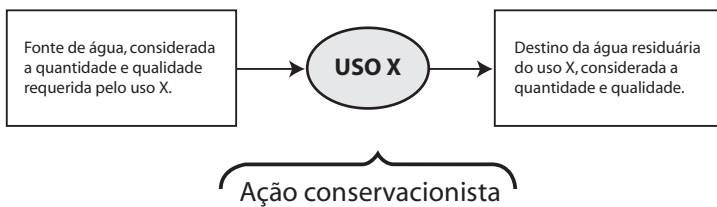
Com base no esquema genérico da figura 5.1 apresentam-se na tabela 5.1 as configurações associadas a usos residenciais mais comuns, adotando a hipótese de que os benefícios almejados com a conservação serão maximizados ao se destinar a cada uso a quantidade e qualidade de água estritamente requerida por esse uso.

FONTE: OS AUTORES

Figura 5.1 Esquema genérico do uso de águas considerando fonte, destino, quantidades e qualidades

Os elementos da tabela 5.1, ao considerar uso e qualidade requerida de forma estrita, adotam o pressuposto de que seria vantajoso, sob diversos pontos de vista, substituir o atual sistema de suprimento de água potável para todos os usos residenciais por

sistemas específicos, particularizados pelo binômio **uso↔qualidade**. Conforme se pode deduzir, essa abordagem levaria a um grande número de sistemas prediais específicos envolvendo reservatórios, tubulações, aparelhos sanitários e estações de tratamento decorrentes do fato de se considerarem seis tipos diferentes de qualidade (QA, QC, QE, QF, QG, além da água potável – POT). Obviamente esse quadro de possibilidades não é factível nos sistemas hidrossanitários residenciais da atualidade.

Tabela 5.1 > Exemplos de usos residenciais de água, sua fonte de origem e destino, consideradas a quantidade e qualidade e ampla reciclagem da água

USO (ASSOCIADO A UM APARELHO SANITÁRIO)		QUALIDADE REQUERIDA NO USO	FONTE CONTENDO QUANTIDADE E QUALIDADE REQUERIDA	QUANTIDADE NO USO (CONSUMO EFETIVO)	QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA	DESTINO DA ÁGUA RESIDUÁRIA	QUANTIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA
A	Descarga de bacia sanitária	QA	Reservatório QA	C1	QRA	ETEP	C1
B	Torneira de lavatório	POT	Reservatório POT	C2	QRB	ETAC	C2
C	Chuveiro elétrico	QC	Reservatório QC	C3	QRC	ETAC	C3 – i3
D	Pia (cozinha)	POT	Reservatório POT	C4	QRD	ETEP	C4 – i4
E	Tanque	QE	Reservatório QE	C5	QRE	ETEP	C5 – i5
F	Lavadora de roupas	QF	Reservatório QF	C6	QRF	ETEP	C6 – i6
G	Torneira de jardim (rega)	QG	Reservatório QG	C7	- • -	- • -	0 (zero)

QA, QC, QE, QF E QG SÃO AS QUALIDADES DE ÁGUA REQUERIDAS PELOS RESPECTIVOS USOS;
C1 A C7 SÃO OS CONSUMOS QUE PODEM SER CALCULADOS PELA FREQUÊNCIA DE USO, DURAÇÃO DO USO E VAZÃO ASSOCIADA;
QRA, QRB, QRC, QRD, QRE E QRF SÃO AS QUALIDADES DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS DOS RESPECTIVOS USOS;
ETAC É A ESTAÇÃO PREDIAL DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZA SE FOR ADOTADA A PRÁTICA DE REAPROVEITAMENTO DESSE TIPO DE ÁGUA;
ETEP É A ESTAÇÃO PREDIAL DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SE FOR ADOTADA A PRÁTICA DE REAPROVEITAMENTO DESSE TIPO DE ÁGUA;
i3, i4, i5 E i6 SÃO QUANTIDADES DE ÁGUAS QUE EVAPORAM OU SE INCORPORAM A ALIMENTOS, OU SEJA, PARCELA DO CONSUMO QUE NÃO RETORNA SOB A FORMA DE ÁGUA RESIDUÁRIA.

No atual estágio de conhecimento e desenvolvimento tecnológico os sistemas prediais hidrossanitários residenciais que adotam práticas conservacionistas trabalham com duas qualidades de água: potável e não potável.

O emprego de água não potável deu origem à terminologia *usos não potáveis*, que, de forma estrita, diz respeito a uma gama de usos que demandam águas que não reque-

rem atendimento dos padrões de potabilidade. Na prática atual, no entanto, os usos não potáveis têm se referido não a uma diversidade de qualidades de águas segundo os diversos usos, mas sim a classes de águas não potáveis, segundo grupos de usos, ou eventualmente, a um mesmo tipo de água não potável, ou seja, cuja qualidade abranja o atendimento de todos esses usos.

A tabela 5.2 apresenta os usos não potáveis mais prováveis em habitações e respectivas características de qualidades consideradas necessárias, estabelecidas em caráter preliminar.

Tabela 5.2 > Usos não potáveis mais prováveis em edificações habitacionais e características de qualidade preliminarmente exigíveis

USO NÃO POTÁVEL E CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DA ÁGUA (REQUISITOS QUALITATIVOS PRELIMINARES)
Descarga de bacia sanitária
ter aparência cristalina e incolor;
ser inodora;
ser sanitariamente segura frente ao fenômeno de respingos no usuário;
são facultar o crescimento de algas no selo hídrico ou de biofilme nas paredes da bacia sanitária em
curtos períodos de tempo (< 48 horas) decorridos entre 2 descargas consecutivas;
não dar origem à formação de espuma quando da descarga;
não conter materiais particulados em suspensão;
não provocar manchas e abrasão na louça sanitária;
não provocar incrustações em louças, tubulações e peças sanitárias;
não provocar corrosão ou outro tipo de degradação de metais sanitários e demais materiais com que tiver contato.
Torneira de piso (lavagem de pisos e de veículos)
não exalar odores objetáveis;
não conter materiais particulados em suspensão;
não provocar manchas e abrasão segundo os tipos de pisos sob limpeza;
não provocar o surgimento de manchas ou películas, especialmente oleosas, após a lavagem;
ser sanitariamente segura frente ao contato direto com o usuário;
ser sanitariamente segura frente à ingestão acidental e eventual;
não provocar incrustações em tubulações e peças sanitárias;
não provocar corrosão ou outro tipo de degradação de metais sanitários e demais materiais com que tiver contato.

Torneira de jardim (rega)

não exalar odores objetáveis;

não conter substâncias danosas à vegetação sob rega e à fauna associada;

não conter substâncias que levem à poluição do solo;

ser sanitariamente segura frente ao fenômeno de respingos e contato com a pele dos usuários de forma mais ampla no caso de áreas verdes para lazer;

ser sanitariamente segura frente à ingestão acidental e eventual;

não provocar incrustações em tubulações e peças sanitárias;

não provocar corrosão ou outro tipo de degradação de metais sanitários e demais materiais com que tiver contato.

Paisagismo (espelhos d'água, cascatas, aquários, etc.)

não ter cor ou turbidez objetáveis à proposta paisagística;

não exalar odores objetáveis;

não conter substâncias danosas à fauna e flora associadas ao paisagismo;

não conter substâncias que levem à poluição do solo;

não provocar o surgimento de películas de biofilmes aderentes às superfícies submersas nos casos de paisagismo cujo propósito seja manter águas cristalinas sobre acabamentos ornamentais visíveis;

não provocar a formação de películas oleosas na superfície da água;

ser sanitariamente segura frente ao contato direto com o usuário;

ser sanitariamente segura frente à ingestão acidental e eventual;

não provocar incrustações em tubulações e peças sanitárias;

não provocar corrosão ou outro tipo de degradação de metais sanitários e demais materiais com que tiver contato;

ter condutividade elétrica adequada às instalações elétricas submersas previstas no projeto paisagístico.

Tanque e lavadora eletromecânica para lavagem de roupas
ter aparência cristalina e incolor;
não conter materiais particulados em suspensão;
ser inodora e não provocar o surgimento de odores objetáveis após a lavagem;
não provocar manchas nos tecidos consideradas lavagens durante longo período;
não provocar alterações precoces e indesejáveis quanto à maciez;
não provocar enfraquecimento precoce dos fios e tramas do tecido;
não provocar depósitos e manchas oleosas nos tecidos;
ter características compatíveis com os sabões, amaciantes, detergentes, desinfetantes e outros produtos usuais na lavagem de roupas;
apresentar dureza adequada à normal formação de espumas dos produtos de limpeza usuais;
não provocar o surgimento de culturas microbianas nos fios e tramas dos tecidos;
ser sanitariamente segura frente ao contato direto com o usuário;
ser sanitariamente segura frente à ingestão acidental e eventual;
não provocar incrustações em tubulações e peças sanitárias;
não provocar corrosão ou outro tipo de degradação de metais sanitários e demais materiais com que tiver contato.
Banho (em chuveiro* ou banheira)
ter aparência cristalina e incolor;
ser inodora;
não conter materiais particulados em suspensão;
ter características compatíveis com o uso de sabões, xampus, condicionadores e outros produtos usuais no banho;
apresentar dureza adequada à normal formação de espumas dos produtos usuais no banho;
não provocar surgimento do fenômeno de oleosidade na pele;
não provocar surgimento do fenômeno de ressecamento da pele;
não provocar reações alérgicas por contato com a pele;
não provocar infecção ou reações alérgicas no contato com as mucosas (narinas, olhos e boca), com as partes genitais, anais, bem como no contato com ferimentos no corpo;
ser sanitariamente segura frente ao uso para bochechos e gargarejos;
ser sanitariamente segura frente à ingestão acidental e eventual;
não provocar incrustações em tubulações e peças sanitárias;
não provocar corrosão ou outro tipo de degradação de metais sanitários e demais materiais com que tiver contato.

* OS TERMOS "CHUVEIRO" E "DUCHA", CONSIDERADOS OS DIVERSOS CONTEXTOS REGIONAIS BRASILEIROS INCLUINDO O MEIO TÉCNICO, NÃO SÃO CONSIDERADOS DISTINTOS (ALVES *ET AL.*, 2006).

Há que se destacar, no entanto, que não existe legislação, normalização ou conhecimento consensualmente aceito no meio técnico brasileiro para descrever objetivamente, por meio de valores de parâmetros físico-químico-bacteriológicos, a qualidade das águas para cada uso não potável, ou ainda, classes de águas para grupos de usos não potáveis.

O estabelecimento de instrumentos legais e normativos deve ser alcançado com base em estudos, experimentos e verificações no meio técnico-científico brasileiro e em análises de valores adotados em outros países ou propostos internacionalmente. Trabalhos vêm sendo conduzidos nesse sentido, a exemplo dos apresentados por Gonçalves *et al.* (2006), bem como na presente publicação. Propostas de valores e classificações também têm sido apresentadas, como no caso do manual publicado pela ANA, Fiesp e Sinduscon (ANA *et al.*, 2005).

5.1.1. Categorias estratégicas de ações conservacionistas

A conservação de água em edificações pode ser estruturada em torno de categorias estratégicas construídas a partir da conceituação básica apresentada por Silva *et al..* (1999) no documento técnico de apoio número (DTA A1) que apresenta e define o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA). Uma revisão sobre a conservação de água no meio urbano, baseada no referido DTA e em outros documentos, é apresentada por Gonçalves *et al.* (2006), Capítulo 2, em publicação da série do Prosab, elaborada pela rede 5 desse programa.

Na elaboração das cinco categorias elaboradas incluem-se as dimensões relativas à natureza (passiva ou ativa), à função (estruturais e não estruturais) e a progressividade das ações. Esta última dimensão tem particular destaque. Com relação a ela, Silva *et al..* (1999) chamam à atenção para o fato de que ações de maior complexidade somente devem ser adotadas quando ações mais simples já estiverem implantadas com seus resultados benéficos já verificados e mensurados. Entre outras razões, a progressividade se mostrou necessária em experiências realizadas, dada à forte elevação dos custos marginais na passagem de ações de menor complexidade para as de maior complexidade. Entretanto as experiências referidas por Silva *et al.* (1999) dizem respeito a programas de conservação de água em sistemas públicos de abastecimento já implantados. No que respeita às aplicações em edifícios essa lógica parece se aplicar a edifícios existentes, mas carece de comprovação no caso de edifícios novos onde o critério de progressividade pode ser associado à disponibilidade de tecnologias já testadas, ou aceitação por parte dos usuários, sem prejuízo dos julgamentos sobre os resultados líquidos benéficos.

As cinco categorias elaboradas são relacionadas na abela 5.3 e, em seguida, são expostas suas características de inserção em programas de conservação de água.

Tabela 5.3 > Categorias estratégicas de conservação de água em edificações
1. Uso eficiente das águas;
2. Aproveitamento de fontes alternativas;
3. Desenvolvimento e adequação tecnológica;
4. Gestão das águas nas edificações; e
5. Desenvolvimento do comportamento conservacionista.

Uso eficiente das águas

Corresponde ao consumo da menor quantidade de água possível para determinado uso ou conjunto de usos, consideradas as qualidades das águas requeridas pelos usos em questão. Trata-se de ação que pode ser de função estrutural ou não estrutural, de caráter ativo ou passivo, podendo ser aplicada em progressividade de diversos graus de complexidade.

Observe que essa categoria estratégica aborda dois campos de caracterização das águas: quantidade, medida pelo volume ou vazão e qualidade, descrita, principalmente, pelas características físico-químico-biológicas.

No campo da quantidade, para determinado uso, pode-se praticar o uso eficiente da água considerando desde o "volume zero", ou seja, a eliminação do consumo de água até o volume estritamente necessário, respeitados atributos técnicos operacionais, de segurança sanitária e ambiental, bem como os componentes culturais. No que tange ao campo da qualidade, o uso em questão determina as características necessárias da água a ser consumida.

Citam-se a seguir dois exemplos do uso eficiente das águas na conservação em edificações.

- **Redução do consumo em aparelhos sanitários** mediante emprego de aparelhos sanitários economizadores em edificações a serem construídas, ou a substituição dessas peças em edifícios existentes. Inclui também medidas simples e eficientes como a adaptação de arejadores na extremidade de torneiras, inserção de válvulas redutoras de pressão em tubulações, entre outras.
- **Aplicação de metodologias, parâmetros e procedimentos de projeto adequados ao funcionamento de sistemas prediais de uso eficiente da água.** Mesmo somente respeitando as exigências e recomendações da norma brasileira de instalação predial de água fria (NBR 5626/1998), há espaço para projeto em condições favoráveis à conservação na forma do uso eficiente.

Aproveitamento de fontes alternativas
A existência no edifício de águas de outras origens que não a do sistema público ou privado de água potável, tais como o esgoto doméstico, as águas cinza, as águas da precipitação pluvial e de eventuais fontes naturais locais, abre possibilidades do aproveitamento dessas fontes.

O aproveitamento de águas de fontes alternativas vem sendo estudado, tecnologias têm sido desenvolvidas e a prática se dissemina, muitas vezes, infelizmente, sem os cuidados recomendados pela boa técnica. As aplicações relativas a esse aproveitamento têm sido destinadas a usos não potáveis, buscando atender os requisitos de qualidades apresentados na tabela 5.2.

Águas originadas de fontes alternativas enquadram-se no campo da conservação das águas em geral tendo em consideração abordagens diversas. Uma ampla revisão sobre o aproveitamento de águas de chuva e águas cinza, bem como a descrição de conceitos, procedimentos e aplicações experimentais pode ser encontrada no livro *Uso Racional da Água em Edificações*, publicação da série do Prosab elaborado pela rede 5 (GONÇALVES, 2006).

Citam-se, a seguir, exemplos de aplicação de fontes alternativas.

- **Aproveitamento de água de chuva** em edificações existentes mediante a complementação do sistema predial de águas pluviais para usos não potáveis como lavagem de pisos, veículos e rega de jardins. Em edifícios novos todo o projeto pode incorporar o aproveitamento como se detalha em item posterior (ALVES *et al.*, 2008). A figura 5.2 ilustra sistemas bastante simples de aproveitamento de água de chuva em edificações populares existentes.
- **Aproveitamento de águas cinza**, normalmente praticada em edifícios a serem implantados ou em amplas reformas e reconstituições de edifícios antigos. As águas cinza são constituídas pela mistura de águas residuárias do banho, de lavatórios, de tanque e lavadora de roupas. Exemplo recente e de ótimos resultados foi obtido em edifício de apartamentos ilustrado na figuras 5.3a e 5.3b, projetado, construído e operado de forma a incorporar o aproveitamento.

Desenvolvimento e adequação tecnológica
Corresponde basicamente à inovação visando à conservação de água e energia e tem sua expressão mais abrangente em programas de pesquisa e desenvolvimento voltados a esse fim. Um exemplo patente deste tipo de ação conservacionista é o programa Prosab, que desde 2003 implementa o desenvolvimento de pesquisas aplicadas e de tecnologia nesta direção através da rede temática 5.

FONTES: UFBA E ALVES *ET AL.*, 2008

Figura 5.2	Sistemas simples de aproveitamento de água de chuva em habitações populares

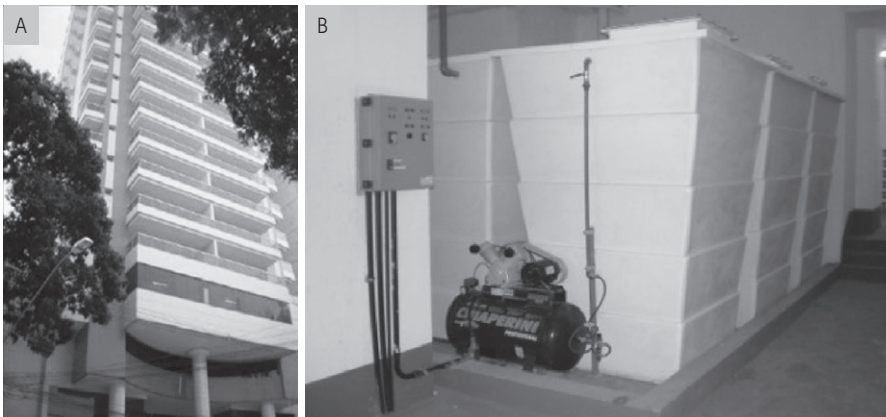



Figura 5.3	(A) Edifício residencial dotado de sistema de aproveitamento de águas cinza em Vitória-ES; e (B) Estação de tratamento de águas cinza para reúso na edificação

O desenvolvimento e a adequação tecnológica são motivados pelos princípios conservacionistas dando margem à invenção de produtos, sistemas compatíveis, procedimentos e outras formas de atendimento àqueles princípios. Entretanto não devem ser descartadas as medidas que dizem respeito às formas que os produtos e sistemas existentes permitem, eventualmente incluindo diferentes manejos de sistemas, visando à conservação. Igualmente não devem ser desprezadas as possibilidades de conservação que se referem à adequação de produtos e sistemas existentes ao comportamento do usuário dando margem à conservação. Exemplo expressivo deste último caso é

a demonstração de que a forma de instalação de mictórios públicos tem influência expressiva no consumo de água usada para descarga, como mostram os resultados do estudo desenvolvido pela Universidade Federal da Bahia.

A inovação pode ter natureza absolutamente transformadora levando a novas plataformas tecnológicas que implicam na superação de paradigmas vigentes, como no caso do saneamento ecológico, que busca a sustentabilidade do uso da água no ciclo urbano (OTTERPOHL *et al.*, 1997 *apud* GONÇALVES *et al.*, 2006). Por outro lado, a inovação pode ter caráter incremental que não dá lugar a novas plataformas tecnológicas. O desenvolvimento ocorrido com as bacias sanitárias é típico dessa condição: modificações das características hidrodinâmicas de funcionamento do escoamento no corpo da louça sanitária permitiram chegar a um produto que opera sob os mesmos requisitos de desempenho que as bacias antigas, porém consumindo muito menos água.

Citam-se a seguir dois exemplos de desenvolvimento e adequação tecnológica voltados à conservação em edificações.

- **Sistemas compactos de tratamento de águas cinza e negras** vêm sendo desenvolvidas para aplicação em edificações. Estações de tratamento de águas cinza (ETACs) encontram-se em operação em edificações e são descritas em item posterior deste texto. As estações de tratamento de águas negras (ETE) voltadas ao reúso são mais complexas e formas compactas encontram-se em desenvolvimento.
- **Estabelecimento de parâmetros e procedimentos visando subsidiar nova norma brasileira de instalações prediais de água fria.** No presente momento estão em andamento os trâmites para início do processo de revisão da norma brasileira de água fria NBR 5626/1998, que deve incorporar os princípios conservacionistas. A normatização é instrumento de controle e desenvolvimento tecnológico e pode ter largo alcance.

Gestão das águas nas edificações

No ambiente predial a situação quanto à perda e ao desperdício de água não é muito diferente dos sistemas públicos de abastecimento de água no Brasil, que ostentam números assustadores de perdas de água potável (SNIS, 2007). De maneira geral pode-se dizer que a manutenção de sistemas prediais hidrossanitários é largamente negligenciada. No caso dos EUA, medições realizadas em campo por Mayer e DeOreo (1999) em diversos estados americanos mostraram que em instalações prediais residenciais as perdas por vazamento são, em média, de 13,7% do consumo total interno à edificação.

A atuação sistemática e contínua sobre os sistemas prediais, visando manter sua integridade e seu bom funcionamento, se constitui em uma exigência sem a qual a intro-

dução de tecnologias e procedimentos conservacionistas não terá sucesso. Diversos exemplos de intervenção demonstram esse fato.

A visão que se tem sobre sistemas de gestão predial, especialmente de uso residencial, ainda é muito limitada e sua pratica pouco difundida no Brasil. Entretanto os números levantados nos EUA, acima referidos, muito provavelmente serão ainda maiores no Brasil.

A implantação de **sistemas de gestão predial** que incluam os princípios conservacionistas é uma exigência para que eles tenham efetividade permanente. Operando instalações prediais antigas ou novas, o gerenciamento se constitui na única garantia de que o combate a perdas, desperdícios, mau funcionamento e adoção de tecnologias conservacionistas tenham efeito.

Citam-se a seguir dois exemplos de ações de gerenciamento de sistemas prediais de distribuição de água que compõe um sistema de gestão predial voltado à conservação em edificações.

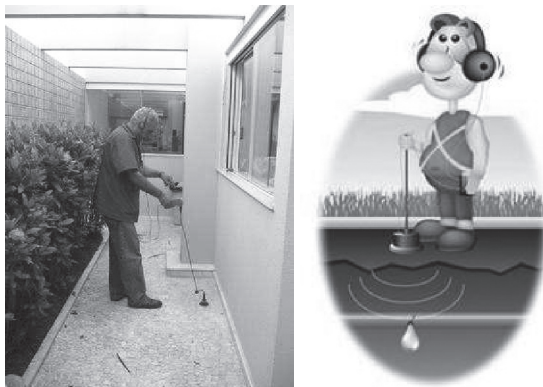
- **Verificação periódica de vazamentos em tubulações, aparelhos sanitários e reservatórios.** A premissa de que diversas partes das instalações prediais hidrossanitárias vazam deve ser assumida como verdadeira, pois existe farta comprovação empírica dessa ocorrência. Inspeções visuais sistemáticas, orientadas por procedimentos específicos e/ou auxiliadas por aparelhos devem ser incluídas no sistema de gestão. A figura 5.4 ilustra a busca de vazamentos invisíveis em tubulações enterradas auxiliada por geofone.

FONTES: WWW.RESOLVEVAZAMENTOS.COM.BR/PAGE_12328188102... E HTTP://WWW.RENOMASTER.COM.BR/MEDIA/RENOMASTER_IMAGENS/LOGO.JPG

Figura 5.4	Pesquisa para identificação de vazamentos em tubulações enterradas

- **Testes durante a implementação de sistemas prediais.** A norma brasileira de instalações prediais de água fria NBR 5626/1998 prevê essa medida. Ela é de fundamental importância porque a prática evidencia que os testes de pressão sobre tubulações antes de seu embutimento resultam em frequência elevada de vazamentos que exigem reparos.

Desenvolvimento do comportamento conservacionista

Compreende o conjunto de abordagens que constitui, em última análise, a força-motriz que pode levar à efetivação da conservação de água e energia. Trata-se, contudo, de um conjunto complexo que diz respeito à cultura definidora de comportamentos que encerram hábitos pessoais e coletivos que exigem abordagem apropriada.

Um aspecto particular que pode ser destacado quanto ao comportamento voltado ao campo conservacionista é a identificação pessoal com determinados valores de forma associada à valorização social ou o *status* social daí decorrente (CÁRDIA, 1987). Esse fenômeno pode ser observado com crescente intensidade na atualidade, na medida em que os valores ambientais ganham espaço e constituem comportamentos valorizados socialmente. Na verdade, observa-se a formação de um corpo de idéias ou posicionamentos ideológicos envolvendo os valores ambientais, com rebatimentos no nível da legislação, na adoção de políticas públicas e na educação escolar formal.

O comportamento conservacionista pode ser desenvolvido por meio de estímulos pelos quais as práticas de conservação levem a benefícios pessoais, familiares ou corporativos no caso de organizações em geral. Os estímulos podem ser os mais diversos e dependem de uma série de variáveis relativas à situação atual da pessoa ou grupo de interesse, das disponibilidades de ferramentas e recursos para aplicação desses estímulos.

Em um grande número de casos o estímulo de natureza financeira pode ser bastante efetivo para induzir à mudança de comportamento e proporcionar ganhos quanto à conservação de água e energia. Entretanto não se trata de instrumento de aplicação universal, podendo apresentar limitações que levem à sua nulidade, conforme se discute no Capítulo 6.

5.2. Programas de conservação de água em edificações

De uma maneira geral as tecnologias de conservação de que trata esse capítulo não dizem respeito especificamente a uma particular situação de um dado edifício. Dessa forma o emprego das tecnologias deve levar em conta os condicionantes de cada situação específica visando adequação da aplicação.

Novas soluções baseadas nos princípios conservacionistas poderão ser engendradas no caso de edifícios a serem projetados e mesmo em fase de projeto. Desses casos poderão decorrer consequências que exijam ajustes no que respeita o edifício, bem como ao seu entorno. É o caso de sistemas de reúso que implicam em menor quantidade de águas residuárias a serem lançadas no sistema coletor público e redução da correspondente tarifa. Outro caso típico que tem dado origem a diversos tipos de tratativas e ajustes de projeto é o da implantação de medição individualizada do consumo de água em apartamentos ou em residências térreas de condomínios. Nesses dois exemplos surge a necessidade de interação com o prestador dos serviços de água e esgoto visando à adequação de procedimentos e tecnologias.

A abordagem mais compreensiva da conservação de água e energia requer a elaboração de programas de base racional e abrangente que se contrapõe à adoção de soluções de caráter isolado que, embora possam ser meritórias em avaliações parciais, não raro mostram inconsistências e mesmo resultados desfavoráveis. A forma mais abrangente e que permite alcançar a plenitude das potencialidades da conservação de água e energia em edifícios é alcançada sob a forma da elaboração, implantação e manutenção de programas de conservação.

Os programas de conservação são elaborados lançando mão de tecnologias de conservação de forma integrada especialmente no caso de edifícios a serem construídos. A elaboração de programas de conservação para unidades a serem construídas permite um conjunto muitíssimo mais amplo de emprego das diversas formas de conservação, pois, nesse caso, os graus de liberdade para implantação de sistemas integrados que elevem a sustentabilidade ambiental do edifício são maiores. As soluções alternativas se multiplicam e interagem fortemente com os demais sistemas prediais, soluções arquitetônicas, sistemas construtivos, entre tantos elementos integrantes do projeto. As formas mais avançadas e consistentes adotam estratégias ambientais globais para a edificação onde a otimização do uso dos recursos naturais é parte componente.

5.2.1. Elaboração de programas de conservação em edifícios habitacionais

Diversas metodologias para elaboração de programas de conservação de água (PCA) em edifícios têm sido desenvolvidas. Barreto (1998) apresenta uma metodologia para edifícios associada ao *programa de necessidades*, instrumento para o planejamento e projeto arquitetônico de edificações. Em 2005, a ANA, a Fiesp e o Sinduscon-SP lançaram um manual de conservação de água para edificações existentes e a serem construídas. Esse manual sintetiza, na verdade, o conhecimento acumulado em programas acadêmicos de pesquisa e desenvolvimento de diversas instituições e aplicações experimentais realizadas principalmente na Região Metropolitana de São Paulo (ANA *et al.*, 2005).

Deve-se salientar um aspecto revelador do atual estágio do conhecimento e da prática sobre as metodologias mais difundidas. Elas abordam o recurso natural água de maneira quase que isolada. No máximo a energia elétrica associada ao consumo de água é considerada no cômputo financeiro-econômico de avaliação de medidas conservacionistas. Além disso vive-se um estágio tecnológico em que a aplicação prática tem se disseminado principalmente em torno da conservação da água de abastecimento público. A conservação de água abrangendo outras qualidades, além da potável, é abordada, por exemplo, no manual da ANA *et al.* (2005) e na publicação da série do Prosab (GONÇALVES, 2006), mas sua aplicação em termos práticos, apesar da intensa demanda observada, ainda encontra-se em estágio inicial no Brasil.

Outro aspecto de destaque na bibliografia sobre conservação de água é que o edifício é o objeto focal das ações sem que se estabeleça correlação com o espaço mais abrangente do ambiente construído. Entretanto já existem no arcabouço legal e institucional brasileiro os instrumentos necessários para que o recurso hídrico seja gerido de maneira integrada, considerando a participação e interesses dos diversos agentes envolvidos, conforme mostra o Capítulo 2 da publicação da série do Prosab (GONÇALVES, 2006).

Sob a óptica ambientalista mais ampla e universal, observa-se um descompasso muito mais abrangente e significativo: existe uma enorme movimentação no meio técnico-acadêmico e no setor da construção civil como um todo em busca do edifício ambientalmente sustentável. Entretanto esse movimento não tem em mãos instrumentos teóricos e práticos necessários para conceber e integrar os componentes em que é usual e abstratamente dividido o edifício (arquitetura, estruturas, sistemas prediais, paisagismo, etc.). Dessa forma o projeto, a construção, o uso e o pós-uso são desenvolvidos sem elo lógico e sólido a respeito da sustentabilidade ambiental, revelando condição conflituosa com princípios sinérgicos amplamente recomendados nessa temática.

Observa-se que os empreendedores e as áreas de projeto de arquitetura e engenharia, ao abraçarem princípios da sustentabilidade ambiental, se vêem forçados a dar respostas relativas à conservação de água e de energia no edifício. Dadas as carências mencionadas anteriormente, observa-se também que ações práticas no campo da conservação de água e energia são cogitadas e experimentadas sem absorver adequadamente avanços conceituais e tecnológicos alcançados no campo acadêmico e técnico mais diretamente vinculado aos sistemas prediais e públicos envolvidos com o manejo urbano das águas.

Exemplo do estágio atual da movimentação do setor da construção civil em torno da sustentabilidade ambiental do edifício é dado por Brito *et al.* (2008), que apontam a existência de pelo menos cinco sistemáticas de avaliação e/ou certificação de conformidade ambiental para edifícios já em prática em diversos países, além de sis-

temática desenvolvida pelo IPT, que busca maior aderência à realidade brasileira[1]. No Brasil, centenas de edifícios estão se submetendo à avaliação para obtenção do selo *Leadership in Energy and Environmental Design Green Building Rating System*[2] (*LEED)* desenvolvido nos EUA e parcialmente adaptado à realidade brasileira. Reforça a exemplificação o grande número de artigos técnicos relativos à sustentabilidade ambiental do edifício apresentados no XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Entac 2008, cujo tema central foi "Geração de valor no ambiente construído: inovação e sustentabilidade" (ANTAC, 2008).

Conforme mostram Brito *et al.* (2008) os métodos de avaliação possuem aspectos conceituais em comum abrangendo, resumidamente, requisitos das seguintes naturezas: impactos do empreendimento no meio urbano, adequação de materiais e resíduos empregados no edifício, uso racional da água, conservação de energia, controle de emissões atmosféricas e conforto e salubridv ade do ambiente interno.

Dado o estágio de desenvolvimento no campo de teorias e estratégias em torno do tema "edifício sustentável", trabalha-se no presente texto com a hipótese de que a conservação de água e energia é um dos componentes que integrará no futuro, de forma harmônica, soluções mais abrangentes sobre a sustentabilidade ora em desenvolvimento. A temática é discutida de maneira mais abrangente no Capítulo 6 deste livro.

Em termos práticos, conforme se mencionou desde o início, buscar-se-á sempre o uso benéfico da conservação de água considerando os impactos que tal ação tem quanto à energia.

Procedimento para projetos de edifícios novos - Tomando como base, em linhas gerais, as definições e ordenamento estabelecidos na norma brasileira NBR 13.531/95 – Elaboração de Projetos de Edificações – Atividades Técnicas e no Manual de Escopo de Projetos e Serviços de Arquitetura e Urbanismo (CAMBIAGHI & AMÁ, 2006), publicado pela Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (AsBEA) em associação com outras entidades do setor, apresenta-se a seguir um procedimento que incorpora ao processo convencional de produção do projeto do edifício, elementos específicos relativos à adoção de soluções conservacionistas. Adicionalmente apresenta-se uma metodologia de avaliação para escolha de ações estratégicas de conservação, como uma rotina à parte a ser inserida no procedimento.

A implementação da edificação ou de um conjunto de edificações é decidida normalmente com base em critérios econômico-financeiros no caso da iniciativa privada e com base em definições programáticas de políticas públicas quando a ação é governamental. A tabela 5.4 refere-se mais de perto à iniciativa no âmbito privado e considera que a tomada de decisão de implantação do empreendimento incorpora uma política ambiental a ele associada.

Tabela 5.4 > Tópicos de destaque na decisão de implantar o empreendimento habitacional

TOMADA DE DECISÃO PARA IMPLANTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO
processo de tomada de decisão de implantação do empreendimento em face às variáveis negociais, financeiras, institucionais, legais e outras (demandas por habitação, cenários e projeto econômico-financeiro, público-alvo, localizações, inserção urbana, prazos, aspectos legais, técnicos e de comercialização, etc.);
tomada de decisão sobre a inclusão de política ambiental no empreendimento.

O primeiro grupo de atividades técnicas no processo de produção do projeto da edificação consiste no estudo preliminar, cujo conteúdo é apresentado de forma resumida na tabela 5.5. Inclui-se já nessa fase do projeto a incorporação de variáveis ambientais associadas ao programa de necessidades do empreendimento. Cabe chamar a atenção para o fato de que faz parte dessa fase o levantamento de restrições, possibilidades e disponibilidades a que o empreendimento estará submetido. Incluem-se no levantamento os elementos relativos ao campo ambiental e, em particular, aqueles relativos à água no que respeita, por exemplo, à sua disponibilidade, às qualidades, às limitações e aos serviços de saneamento prestados, entre outras informações de importância para a formulação de propostas de conservação.

No que concerne à conservação de água, na fase de estudo preliminar somente será possível aventar soluções alternativas com graus de compatibilidade variável com referência aos demais componentes do projeto. Dificilmente nessa fase será possível determinar, de maneira racional e criteriosa, quais intervenções relativas à conservação de água são adequadas e mais vantajosas.

Tabela 5.5 > Elementos constituintes do estudo preliminar do empreendimento incorporando variáveis ambientais

FASE A ESTUDO PRELIMINAR
levantamento de dados envolvendo o empreendimento: possibilidades, disponibilidades, restrições e limitações de natureza diversa;
estabelecimento do programa de necessidades do empreendimento incorporando diretrizes relativas às variáveis ambientais, especialmente no que tange à água e energia;
levantamento e análise física dos condicionantes do entorno;
quantificação do potencial construtivo do empreendimento;
estudo de viabilidade do empreendimento com base nas diretrizes ditadas pelas restrições, possibilidades e disponibilidades dentro das margens do projeto econômico-financeiro preliminar.

O anteprojeto, fase B do processo produtivo, busca chegar em soluções preliminares a partir da consideração conjunta dos elementos obtidos na fase anterior. A tabela 5.6 apresenta os principais elementos dessa fase, destacando que esse é o momento em que haverá condições de avaliar, com base em método comparativo, as soluções-alternativas para conservação. A escolha das soluções conservacionistas deverá levar em conta sua viabilidade em termos **ambientais, sanitários, econômicos, técnicos e culturais**, além de se enquadrar de forma harmônica às demais soluções preliminares das diversas partes constituintes da edificação.

Tabela 5.6 > Elementos constituintes do anteprojeto do empreendimento incorporando variáveis ambientais

FASE B ANTEPROJETO
consolidação de dados resultantes do estudo preliminar;
análise das alternativas de abordagem da variável ambiental visando à incorporação nas soluções preliminares com destaque para a conservação de água e energia;
soluções preliminares das diversas partes componentes: implantação, pavimentos-tipo, unidades, cobertura, fachada, serviços privativos e comuns, sistemas e métodos construtivos, sistemas prediais hidrossanitários, elétricos, de outras fontes de energia e outros;
avaliação comparativa de alternativas de tópicos relacionados à sustentabilidade do edifício com particular atenção aos sistemas prediais e às respectivas tecnologias que dizem respeito ao campo hidrossanitário e energético;
análise das alternativas de abordagem da variável ambiental visando incorporação nas soluções preliminarescom destaque para a conservação de água e energia;
encaminhamentos de Projetos Legais e consultas aos órgãos públicos competentes e aos prestadores dos serviços públicos de saneamento e de energia.

Avaliação de soluções alternativas de ações conservacionistas - A avaliação se baseia na comparação entre as soluções cogitadas, julgadas com base em critérios de natureza ambiental, sanitária, técnica, econômica e cultural, expressos quantitativamente e/ou qualitativamente.

A avaliação aqui proposta adota o ponto de vista, ou de maneira mais apropriada, os interesses, do futuro morador da edificação sob projeto. Isso implica, por exemplo, que os cômputos de natureza econômica levarão em conta a óptica do morador, muito embora as avaliações sobre medidas conservacionistas se alterem segundo a ótica do agente envolvido (GONÇALVES, 2006). Nas consultas ao prestador dos serviços públicos de saneamento, por exemplo, deve ser levada em conta a possibilidade de ocorrer choque de interesses que inviabilizem determinadas propostas de conservação

cogitadas para o edifício. Como algumas soluções têm caráter inovador, aplicações experimentais têm levado a condições negociadas entre os agentes envolvidos.

Para a geração de soluções alternativas adotam-se, em princípio, as cinco categorias estratégicas de conservação, preliminarmente descritas. A tabela 5.7 apresenta as soluções preliminarmente previstas para avaliação de soluções em um edifício hipotético, segundo as categorias estratégicas.

Tabela 5.7 > Soluções alternativas de conservação associadas às categorias estratégicas, visando à avaliação no processo de produção do projeto do edifício

CATEGORIA ESTRATÉGICA DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA		SOLUÇÕES ALTERNATIVAS DE CONSERVAÇÃO VISANDO AVALIAÇÃO
1	Uso eficiente das águas	Emprego de aparelhos sanitários de baixo consumo
2	Aproveitamento de fontes alternativas	Aproveitamento de águas cinza Aproveitamento de águas de chuva Águas subterrâneas ou do mar
3	Desenvolvimento e adequação tecnológica	Medição individualizada Compartimentação das pressões da água em faixas de valores adequadas à conservação
4	Gestão das águas no edifício	Medições setorizadas de consumo Implantação de sistema de gestão das águas no edifício
5	Desenvolvimento do comportamento conservacionista	Formação e treinamento de moradores, funcionários e prestadores de serviços sobre o sistema de gestão de águas

A elaboração de soluções alternativas lança mão das ações estratégicas inicialmente cogitadas (tabela 5.7), consideradas a demanda e oferta. Em princípio não existe um método pré-determinado para criar as soluções alternativas. Trata-se, na verdade, da composição de soluções possíveis utilizando as disponibilidades de oferta e demanda de água, a configuração do edifício e, particularmente, dos compartimentos de áreas molhadas e respectivos usos a serem atendidos, o conhecimento sobre as tecnologias que cada solução envolve, entre outros elementos.

No desenvolvimento da aplicação é recomendável estabelecer um recorte de soluções, ou seja, adotar hipóteses preliminares que direcionam as soluções a serem elaboradas, considerando o atual estágio do conhecimento e experimentação. Em caráter preli-

minar as diretrizes apresentadas na tabela 5.8 podem ser adotadas. Observe que as restrições desse recorte inicial não descartam as soluções alternativas elencadas na tabela 5.4.

Tabela 5.8 > Diretrizes preliminares aconselháveis para a elaboração de soluções alternativas de conservação

Emprego de usos não potáveis já estudados e testados ou em fase de consolidação: descarga de bacias sanitárias, lavagens de pisos, lavagem de veículos e rega de jardins;
Adoção de apenas dois tipos de qualidade de água: potável (POT) e não potável (NPOT), conforme explanação inicialmente apresentada;
Adotar aproveitamento de fontes alternativas cujos sistemas de tratamento já tenham sido testados e cuja operação seja bem conhecida; é o caso do aproveitamento das águas de chuva e das águas cinza;
A análise do perfil do consumo doméstico de água é particularmente importante para identificar os usos que mais contribuem para o consumo total. As ações sobre esses usos devem ser privilegiadas lançando mão das ações elencadas. O Capítulo 2 deste livro apresenta dados sobre o perfil de consumo doméstico;
Ter em conta, de antemão, a importância de minimizar o bombeamento de águas. No caso particular do aproveitamento de águas de chuva essa consideração pode ser decisiva e implicar em configuração específica da cobertura do edifício. Soluções abordando essa questão são apresentadas por Alves *et al.* (2008).

A título de ilustração da avaliação de soluções alternativas o procedimento aqui descrito pode ser associado ao projeto hipotético de um edifício de apartamentos. O edifício tem 20 andares com quatro apartamentos por andar, salão de festas no térreo e jardim com *playground* no térreo. Cada apartamento conta com dois banheiros, cozinha e área de serviços. O banho é proporcionado por chuveiro elétrico.

Um conjunto de soluções alternativas é apresentado a título de exemplo na tabela 5.9 (A) e (B), empregando combinações das soluções inicialmente estabelecidas na tabela 5.7. Admite-se que o emprego de aparelhos sanitários de baixo consumo, a medição setorizada, a compartimentação de pressões, a implantação do sistema de gestão e a formação e treinamento de moradores, funcionários e prestadores de serviços são soluções de caráter mais geral, de simples implantação; qualquer que seja a combinação das demais soluções alternativas, devem ser contempladas.

Há que levar em conta as implicações da solução de medição individualizada na forma que vem sendo praticada. Esse tipo de solução requer colunas verticais de onde derivam, em cada andar, tubulações formando anéis de alimentação exclusivos para cada apartamento. A medição, usualmente, é inserida nessa derivação. Se o sistema predial for concebido para operar com água potável e água não potável, duas derivações – respecti-

vamente da coluna de água potável e da coluna de água não potável – serão necessárias. O importante é ter em mente que a medição individualizada implica numa configuração bastante distinta da situação tradicional da distribuição de água praticada atualmente, onde se tem colunas servindo água por gravidade a compartimentos molhados superpostos nos diversos andares. Essa lógica de configuração também se mantém caso o sistema adote pontos de utilização de água potável e, outros, de água não potável.

O próximo passo do procedimento de avaliação tem sequência por meio de um amplo balanço hídrico do edifício, consoante os elementos definidos na fase de anteprojeto do empreendimento. Tem-se de um lado a demanda, organizada e sistematizada com base nos compartimentos de áreas molhadas, respectivos consumos e qualidade de água requerida. Do lado da oferta adota-se o mesmo procedimento considerando as quantidades disponíveis e respectivas qualidades. Os volumes e/ou vazões resultantes do balanço hídrico serão associados às soluções alternativas previamente cogitadas, conforme apresentam as tabelas 5.9 (A) e 5.9 (B).

Tabela 5.9 (A) > Soluções alternativas a serem consideradas para a avaliação do sistema hidrosanitário a ser adotado (**com medição individualizada**)

SOLUÇÃO ALTERNATIVA I	SOLUÇÃO ALTERNATIVA II	SOLUÇÃO ALTERNATIVA III	SOLUÇÃO ALTERNATIVA IV
Medição individualizada	Medição individualizada	Medição individualizada	Medição individualizada
—	Aproveitamento de águas cinza	Aproveitamento de águas cinza	—
—	—	Aproveitamento de águas de chuva	Aproveitamento de águas de chuva

Tabela 5.9 (B) > Soluções alternativas a serem consideradas para a avaliação do sistema hidrossanitário a ser adotado (**sem medição individualizada**)

SOLUÇÃO ALTERNATIVA V	SOLUÇÃO ALTERNATIVA VI	SOLUÇÃO ALTERNATIVA VII
—	—	—
Aproveitamento de águas cinza	Aproveitamento de águas cinza	—
—	Aproveitamento de águas de chuva	Aproveitamento de águas de chuva

O diagrama apresentado na figura 5.5 ilustra o procedimento necessário à consecução do balanço hídrico. Esse procedimento é quase que totalmente integralizado na tabela 5.10, tendo como referência o edifício-exemplo. É claramente ilustrado o procedimento de cálculo do consumo efetivo de água potável e não potável e da quantidade de água residuária disponibilizada.

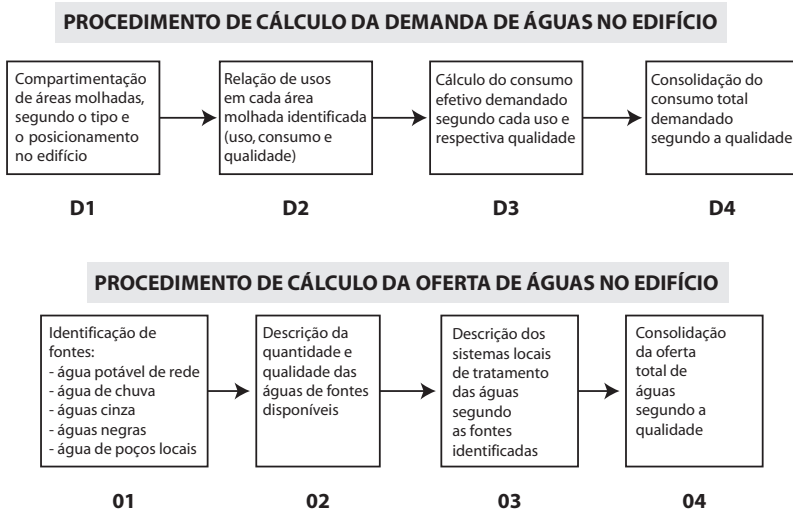
Cumpre salientar de antemão que as experiências de reúso de águas cinza realizadas no âmbito do Prosab demonstraram que em edifícios habitacionais convencionais há um excesso de oferta de águas cinza com referência à demanda de usos não potáveis atualmente praticados (descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e rega). Esse fato deve se evidenciar ao ser realizado o balanço hídrico apresentado na figura 5.5. Dessa forma a *contribuição de água residuária para a estação de tratamento de águas cinza*, cujo total, conforme a tabela 5.10, é dado pela expressão $\Sigma\ (C_m - i_m)$, deverá ser limitada, segundo valor compatível com a demanda dos usos previstos.

FONTE: OS AUTORES

Figura 5.5 Balanço hídrico do edifício: demanda e oferta de água segundo uso e qualidade

As referidas experiências práticas do Prosab mostram que cerca de 70% do total de águas cinza não terão demanda nos usos não potáveis. Ou seja, se toda a água cinza gerada no edifício for conduzida a uma ETAC somente 30% do total tratado terá demanda para reúso. Neste caso o restante deverá ser encaminhado à rede de esgoto.

Na tabela 5.10 não foi computado o aproveitamento de água de chuva, que é considerado à parte. O sistema de aproveitamento de água de chuva pode ser projetado para funcionamento totalmente autônomo, ou seja, dependendo apenas da precipitação pluvial ou pode ser associado com outras fontes. Normalmente os projetos de aproveitamento de água de chuva contam com fontes de água potável ou de água de reúso para complementação da quantidade necessária nos períodos de estiagem. A tabela 5.10 também não considera perdas e desperdícios, que deverão ser avaliados à

parte, preferencialmente com base em índices e valores já medidos em estudos sobre condições similares.

A contabilização geral de quantidades de águas envolvidas no projeto é apresentada na tabela 5.11.

Dada as premissas apresentadas anteriormente quanto aos critérios de avaliação e os interesses do agente considerado, o morador, a avaliação tem conclusão mediante a comparação entre as soluções alternativas pré-dimensionadas.

Na avaliação será necessário ter para cada solução alternativa o esboço do projeto das instalações hidrossanitárias, acompanhado do orçamento envolvendo os custos de projeto, implantação e operação ao longo da vida útil do edifício. Obviamente agregam-se a esses valores as despesas tarifárias de consumo de água, de contribuição de esgoto e de consumo energético.

A avaliação financeira deve ser realizada com a mesma metodologia aplicada às demais partes do edifício, permitindo inferir incidências dos sistemas hidrossanitários, segundo as soluções alternativas sob avaliação. Têm sido aplicados os métodos do período de retorno (*payback*), do valor presente líquido, da taxa interna de retorno e a relação custo benefício (ANDRÉ & PELIN, 1998). Aplicações de avaliação financeira sobre experimentos práticos são apresentados por Gonçalves (2006) e no manual da ANA *et al.* (2005).

Deve ser relembrado, contudo, que a avaliação financeira não tem precedência sobre os critérios de natureza **ambiental, sanitária, técnica e cultural**, além do enquadramento harmônico às demais soluções preliminares das diversas partes da edificação que devem ser levados em conta. A experiência tem demonstrado, por exemplo, que os fatores de natureza cultural têm enorme peso no sucesso de ações conservacionistas.

Tabela 5.10 > Cálculo do consumo efetivo de água potável e não potável por uso, quantidade e destino da água residuária de cada uso

COMPARTIMENTO (DENOMINAÇÃO)		USO (ASSOCIADO A UM APARELHO SANITÁRIO)	QUALIDADE DA ÁGUA REQUERIDA PARA O USO (a)	CONSUMO EFETIVO (L.DIA) (b)		QUALIDADE DA ÁGUA RESIDUÁRIA (c)	QUANTIDADE DE ÁGUA RESIDUÁRIA (L.DIA) (d)		DESTINO DA ÁGUA RESIDUÁRIA (e)
				POT	NPOT		Para a REDE	Para a ETAC	
A	Banheiro	Bacia sanitária	NPOT	- x -	C1	QR1	C1	- x -	REDE
A	Banheiro	Lavatório	POT	C2	- x -	QR2	- x -	C2 – i2	ETAC
A	Banheiro	Chuveiro	POT	C3	- x -	QR3	- x -	C3 – i3	ETAC
A	Banheiro	Torneira de piso	NPOT	- x -	C4	QR4	- x -	C4	REDE
B	Cozinha	Pia	POT	C5	- x -	QR5	C5 – i5	- x -	REDE
B	Cozinha	Filtro	POT	C6	- x -	- x -	- x -	- x -	- x -
C	Área de serviço	Tanque	POT	C7	- x -	QR6	C7 – i7	- x -	ETAC
C	Área de serviço	Lavadora de roupas	POT	C8	- x -	QR7	C8	- x -	ETAC
D	Salão de festas	Bacia sanitária	NPOT	- x -	C9	QR1	C9	- x -	REDE
D	Salão de festas	Lavatório	POT	C10	- x -	QR2	- x -	C10 – i10	ETAC
D	Salão de festas	Pia	POT	C11	- x -	QR5	C11 – i11	- x -	REDE
D	Salão de festas	Torneira de piso	NPOT	- x -	C12	QR4	- x -	C12	REDE
E	Térreo (*hall* e pátio)	Torneira de piso	NPOT	- x -	C13	QR4	- x -	C13	REDE
F	Térreo (jardins)	Torneira de jardim	NPOT	- x -	C14	- x -	- x -	- x -	- x -
Consumo efetivo de água potável (L.dia)				ΣC_i					
Consumo efetivo de água não potável (L.dia)					ΣC_j				
Contribuição de água residuária para a rede coletora de esgoto (L.dia)							$\Sigma (C_k - i_k)$		
Contribuição de água residuária para a estação de tratamento de águas cinza (L.dia)								$\Sigma (C_m - i_m)$	

As observações assinaladas no topo das colunas da tabela 5.10 têm os seguintes significados:

a) POT indica que a qualidade da água atende aos padrões de potabilidade (Portaria MS 518/04) e NPOT indica que a qualidade da água não atende aos padrões de potabilidade, embora sua qualidade deva ser compatível com os usos a que se destinar;

b) o consumo efetivo de água pode ser calculado pela expressão $C_i = N \times f \times t \times q$, em que N é o número de aparelhos sanitários associados ao uso, f é a frequência média diária de uso, t é o tempo médio de duração do uso e q é a vazão ou volume médio de água no uso. A questão da simultaneidade do uso, prevista na normalização brasileira, deverá ser levada em conta no dimensionamento das tubulações do sistema de água potável e de água não potável;

c) QR_i é a qualidade da água residuária em termos de suas características descritas pelos valores dos parâmetros físico-químico-bacteriológicos, objeto de pesquisas em curso com alguns resultados apresentados neste livro;

d) é a quantidade de água residuária resultante de um particular uso. Os valores i_n representam as parcelas que são desincorporadas do consumo efetivo em função de evaporação, ingestão, adição a alimentos, etc. O cômputo da quantidade de água residuária que terá por destino a rede coletora visa aquilatar a parcela a ser deduzida da contribuição usual de esgotos;

e) REDE é a rede coletora de esgotos, pública ou local no caso de sistemas locais de esgotamento; ETAC é a estação de tratamento de águas cinza componente necessário no caso de adoção de aproveitamento de água de fontes alternativas.

Tabela 5.11 > Valores consolidados de demanda e oferta de águas e qualidades envolvidas

DEMANDA (L.dia)		OFERTA (L.dia)					
POT	**NPOT**	**Potável**			**Não potável**		
		Rede pública	(a)	DNL	Água de chuva	(b)	V_{ch}
$\Sigma\ C_i$	$\Sigma\ C_j$				Águas cinza	(c)	$\{\Sigma\ (C_m - i_m)\} - V_o$
					Poço local	(d)	V_{pf}

(a) DNL SIGNIFICA DISPONIBILIDADE NÃO LIMITADA, OU SEJA, A REDE PÚBLICA TEM CAPACIDADE DE FORNECER QUALQUER QUANTIDADE DEMANDADA;
(b) A QUANTIDADE DE ÁGUA DE CHUVA VARIA AO LONGO DO ANO EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES LOCAIS; OS CÁLCULOS DE DISPONIBILIDADE DEVEM SER EFETUADOS SEGUNDO MÉTODO ADEQUADO; SUGERE-SE CONSULTAR GONÇALVES (2006) PARA ESCOLHA DE PROCEDIMENTO DE PROJETO;
(c) DO TOTAL DE ÁGUA RESIDUÁRIA DESTINADA À ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA DEVE SER DEDUZIDO UM PEQUENO VOLUME V_0 QUE CORRESPONDE ÀS NECESSIDADES OPERACIONAIS DA PRÓPRIA ESTAÇÃO A SER DESCARTADO;
(d) A EVENTUALIDADE DA EXPLORAÇÃO DE UM POÇO LOCAL DEPENDE DE OUTORGA QUE DEFINE AS CONDIÇÕES DE EXPLORAÇÃO.

Concluída a avaliação sobre as soluções alternativas de conservação de água, tem seqüência o processo de produção do projeto que entra na sua fase C, pré-executivo e projeto básico, conforme tabela 5.12. Nesta fase todas as soluções do edifício devem estar consolidadas, sendo procedida a compatibilização de todos os documentos arquitetônicos com as demais especialidades, com especial destaque para os sistemas hidrossanitários, especialmente quando introduzem estruturas inovadoras como no caso da conservação de água.

Finalmente, o projeto executivo é elaborado com todos os detalhes necessários à execução. Deve ser considerado com especial atenção o detalhamento das soluções inovadoras dos sistemas hidrossanitárias, pois introduzem materiais, equipamentos, procedimentos e compatibilizações não convencionalmente praticadas. A tabela 5.13 apresenta os elementos dessa fase do projeto.

A conclusão de todo o processo se dá com as fases E e F, denominadas respectivamente pós-entrega do projeto e pós-entrega da obra. No caso dos sistemas prediais hidrossanitários essas fases têm importância porque na primeira são elaborados o manual do morador e o sistema de gestão ambiental do edifício e na segunda é implementado o programa de desenvolvimento visando à efetivação da gestão ambiental do edifício. As tabelas 5.14 e 5.15 apresentam os elementos dessas fases finais.

Tabela 5.12 > Elementos constituintes do pré-executivo e projeto básico

FASE C PRÉ-EXECUTIVO E PROJETO BÁSICO
Soluções consolidadas: implantação, sistemas, métodos construtivos, acabamentos, unidades, cobertura, fachada, etc.;
compatibilização dos documentos arquitetônicos desta fase com todos das demais especialidades e consultorias. **Especial atenção deve ser dada à compatibilização dos sistemas prediais hidrossanitários no caso de introdução de soluções inovativas de conservação de água que exijam instalações não convencionais**;
compatibilização de toda documentação legal com **destaque para as eventuais necessidades decorrentes da implantação de sistemas prediais de conservação de água e energia elétrica que exijam adequação aos padrões dos respectivos prestadores de serviços**;
preparo de cadernos de apresentação ou de produção de material gráfico promocional com cuidado específico na menção às características de sustentabilidade que o edifício incorpora.

Tabela 5.13 > Elementos constituintes do projeto executivo

FASE D PROJETO EXECUTIVO
soluções definitivas e detalhadas sobre todas as partes do edifício, com a perfeita caracterização das obras e serviços a serem executados;
detalhamento de todos os sistemas prediais hidrossanitários e das áreas molhadas servidas, com especial atenção no sentido de exibir perfeita clareza sobre e obras e serviços de instalações não convencionais decorrentes da adoção de soluções de conservação de água e energia;
detalhamento de todas as demais partes do edifício;
composição de custos com base no projeto e detalhamentos e respectivas quantificações de materiais e serviços;
cronograma de execução com particular atenção à necessária articulação da execução das partes componentes do edifício com os sistemas prediais hidrossanitários inovativos.

Tabela 5.14 > Elementos da fase pós-entrega do projeto

FASE E PÓS-ENTREGA DO PROJETO
apresentação do projeto com **especial atenção aos sistemas não convencionais adotados, particularmente aqueles relativos aos sistemas prediais hidrossanitários que deram origem a instalações inovativas**;
acompanhamento de execução;
compatibilização de especificações não previstas;
elaboração do manual do morador;
elaboração do sistema de gestão ambiental do edifício.

Tabela 5.15 > Elementos da fase pós-entrega do projeto

FASE F PÓS-ENTREGA DA OBRA
análise e avaliação da edificação em uso no sentido de verificar se os condicionantes e pressupostos de projeto foram adequados e se eventuais alterações, realizadas durante a execução, observam os requisitos de desempenho estabelecidos, bem como se preenchem as expectativas do empreendedor e dos moradores e demais ocupantes;
consolidação de registros, desenhos e demais elementos caracterizadores da obra conforme foi construída (*as built*);
implementação do programa de desenvolvimento para efetivação da gestão ambiental do edifício envolvendo moradores, funcionários, representantes dos prestadores de serviços públicos de saneamento, energia e outros, em conformidade com as intervenções que integraram o partido de sustentabilidade ambiental da edificação.

Procedimento para projetos de conservação em edifícios existentes. No caso de edifícios existentes, as experiências realizadas recomendam uma abordagem prevendo **progressividade de ações** nos casos de introdução de medidas conservacionistas que se enquadrem em projetos para edifícios habitacionais em uso. Aplicam-se também os princípios norteadores da conservação envolvendo a **gestão de demanda e da oferta quaisquer sejam as qualidades das águas consumidas no edifício**.

Há uma facilidade relativa no caso de edifícios existentes: as condições de contorno estão determinadas e, dessa forma, as soluções alternativas a serem cogitadas estão previamente demarcadas por essas condições, a menos que as intervenções possam ganhar vulto e se tornem ações que reestruturem o edifício. Essa possibilidade está presente em recuperações ou reformulações de edifícios antigos, por exemplo. Por outro lado, há dificuldades facilmente compreensíveis dadas as dificuldades de modificações e implantações em uma edificação em uso.

No caso de edifícios habitacionais existentes as ações estratégicas enumeradas na tabela 5.3 também podem ser aplicadas, respeitadas as limitações da intervenção. Nesse caso a consulta e participação dos moradores ganha importância decisiva. Entretanto deve ficar bastante claro e explícito que os ganhos obtidos em programas de conservação de edifícios existentes podem ser bastante limitados. As possibilidades se ampliam em conjuntos habitacionais onde os usos comuns são diversificados e o acesso às tubulações é relativamente facilitado.

O procedimento de projeto parte de uma situação pré-definida o que exige uma seqüência de análise apropriada e bastante diferenciada do caso do edifício a ser construído ou totalmente reformulado. Recomenda-se a seguinte seqüuência de atividades:

> **a) levantamento das instalações hidrossanitárias e diagnóstico quanto aos usos e consumos de água;**
>
> **b) elaboração de soluções alternativas incluindo a elaboração de material de fácil entendimento para interação e tomada de decisão com os moradores;**
>
> **c) implantação progressiva, controlada e monitorada de ações com participação e acompanhamento dos moradores;**
>
> **d) elaboração de um sistema de gestão das águas do edifício; e**
>
> **e)capacitação de moradores, funcionários e prestadores de serviço no gerenciamento previsto no sistema de gestão.**

Em edifícios existentes o combate a perdas e desperdícios deve ser cuidadosamente levado em consideração. Assim na fase a) o levantamento de documentos sobre as instalações e as inspeções *in loco* devem incluir verificações de vazamentos visíveis,

invisíveis, bem como devem ser identificadas práticas que configurem desperdícios. O diagnóstico deve incluir a descrição dos sistemas hidrossanitários, suas falhas, suas perdas e seus desperdícios verificados, bem como os valores históricos e de consumos, com setorização tão detalhada quanto possível.

Para orientar e aquilatar o efeito das ações conservacionistas posteriores, o diagnóstico deve contemplar indicadores de consumo, de perdas e de desperdícios. Em geral apenas parte dos valores relativos aos consumos conta com registros históricos. Dessa forma grande parte dos dados complementares deverá ser levantada por medição direta ou estimada com base em valores disponíveis na literatura técnica. É o caso de vazamentos de aparelhos sanitários e de tubulações embutidas, por exemplo. Em qualquer caso será necessário estabelecer indicadores que forneçam medida objetiva sobre o consumo de água, de forma que no processo gradativo de implantação os efeitos sejam objetivamente mensuráveis, medida de grande repercussão frente aos usuários. Em edifícios habitacionais um parâmetro básico para compor indicadores é a população usuária, ou seja, o número de moradores, funcionários e a ocorrência de eventos que aumentem o número médio de moradores por dia, ou por mês, por exemplo, ao longo do ano.

O sucesso das intervenções conservacionistas depende em muito da clara percepção dos usuários sobre os resultados das primeiras ações. Assim, na elaboração de soluções alternativas, devem ser privilegiadas aquelas que produzam resultados mais facilmente perceptíveis com menores impactos em termos de despesas e transtornos ao funcionamento dos sistemas. Por exemplo, em edifícios dotados de aparelhos sanitários de boa qualidade e relativamente novos, cujas tubulações apresentem razoável grau de qualidade e poucos sinais de práticas inadequadas de implantação, a ação de combate às perdas pode levar a resultados muito modestos, resultando em baixo nível de impacto no plano motivacional. Se, no entanto, esse mesmo edifício tiver um consumo considerável de água para uso comum (regas, lavagem de pisos e veículos, por exemplo), a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva pode para tais usos pode ter impacto mais expressivo.

Em edifícios de apartamentos altos e com boa acessibilidade às tubulações, é possível instalar válvulas redutoras de pressão. Essa medida tem grande potencial de redução de perdas por vazamento, bem como rebaixa o valor das vazões em aparelhos sanitários. No entanto trata-se de medida a ser apresentada previamente aos moradores e deve contar com ampla aprovação, pois os efeitos em termos da mudança do funcionamento de aparelhos podem ser inaceitáveis para os usuários. Em alguns casos essa medida pode ser localizada, como no caso da redução da pressão em chuveiros envolvendo apenas uma unidade habitacional, por exemplo. Mas dificilmente tal medida contará com apoio de alguns moradores se toda a comunidade usuária não aceitar a ação.

Ações mais avançadas em edificações sob uso, como a substituição de aparelhos sanitários, devem ser cuidadosamente avaliadas especialmente sob dois aspectos: em primeiro lugar deve haver alto grau de confiança sob os ganhos a serem obtidos frente aos investimentos a serem feitos, o que depende muito da experiência sobre aplicações anteriores e sobre a situação objetiva do local. Em segundo lugar os aspectos técnicos envolvendo substituições devem ser detalhadamente verificados e simulados diversas vezes antes de se implantar as medidas em condições reais. Esse cuidado decorre de aplicações onde aspectos aparentemente desprezíveis causaram grandes transtornos. Um exemplo emblemático ocorreu em uma experiência de substituição de bacias sanitárias antigas por bacias sanitárias de 6,8 L por descarga. As modificações no corpo da louça sanitária nova levaram o orifício de saída da bacia a uma posição ligeiramente diferente da antiga, de forma que no momento da substituição a nova bacia não conseguia ser instalada a menos que a tubulação de esgoto (o ramal da bacia) tivesse sua extremidade mudada de posição. Isso, por sua vez, exigia que se removesse parte do revestimento cerâmico, procedimento não aceito pelos moradores. Diversos outros detalhes dessa natureza podem ser relatados e devem constituir cuidado extremo para se obter uma implementação exitosa.

Tem destaque nesse tipo de intervenção a oportunidade de se criarem zoneamentos nos sistemas hidrossanitários visando implantar medições setorizadas. Trata-se de instrumento de grande utilidade no monitoramento e controle e, de outra parte, torna-se elemento educativo e motivacional para a população usuária. A implantação de medidores em tubos de distribuição vertical, derivando do barrilete e servindo a compartimentos superpostos em apartamentos, pode ser cogitado, em caráter permanente ou temporário. Essa medida pode permitir descrever os consumos em determinados usos ou conjunto de usos e, eventualmente, dar margem a comparações sobre estratégias de redução de consumo.

Finalmente, a exemplo do que ocorre em novos edifícios, há que desenvolver o comportamento conservacionista e fornecer instrumentos objetivos para seu exercício. Para tanto é imprescindível elaborar e implantar um sistema de gestão que propicie a manutenção dos ganhos de forma perene. Os indicadores de consumo (em função da população usuária, por exemplo) devem ser facilmente obteníveis e de fácil interpretação para tomada de decisões.

5.3. Estudos e experiências do Prosab no desenvolvimento de tecnologias de conservação de água em edificações

São apresentadas a seguir características de tecnologias de conservação em edifícios referidas às categorias estratégicas constantes da tabela 5.3 São descritas as principais características das tecnologias e exemplos de aplicação desenvolvidos no âmbito do Prosab pela rede temática 5.

5.3.1. Fontes alternativas: aproveitamento de água de chuva

Uma abordagem abrangente sobre o aproveitamento da água de chuva é apresentada por Philippi *et al.* (2006), que descreve aspectos do ciclo hidrológico, qualidade de águas precipitadas, histórico da prática do aproveitamento, situação mundial quanto ao tema, bem como critérios técnicos e econômicos de sistemas prediais de aproveitamento e resultados de aplicação experimental no âmbito do Prosab.

Adotando um amplo espectro pode-se considerar que três grandes virtudes são frequentemente associadas ao aproveitamento da água de chuva em edifícios: diminuição da demanda de água potável do sistema público de abastecimento, diminuição do pico de inundações quando aplicada em larga escala, de forma planejada, em uma bacia hidrográfica e possibilidade de redução de despesas com água potável por parte do usuário do edifício (ALVES *et al.*, 2008).

O aproveitamento de águas de chuva em edificações pode ganhar ainda maior importância com o avanço do conhecimento e da padronização sobre as qualidades das águas requeridas para o banho e para a lavagem de roupas, já que os percentuais medidos e inferidos da participação do consumo de água nesses usos no ambiente residencial têm se mostrado bastante significativos. Entretanto, mesmo considerando somente o emprego na descarga de bacias sanitárias, lavagens de pisos e veículos e rega de jardins, conforme preconizado anteriormente neste texto em respeito ao princípio da precaução, o aproveitamento da água de chuva vem se mostrando uma importante ação conservacionista.

Duas vertentes serão analisadas a seguir no que se refere às tecnologias de aproveitamento de águas de chuva em edificações. Um aspecto que tem chamado a atenção nessa aplicação diz respeito à qualidade das águas de chuva tendo em conta a diversidade de usos que seu aproveitamento pode proporcionar, embora venha se firmando o consenso no meio técnico de aproveitamento para usos não potáveis nos locais que disponham de sistemas públicos de distribuição. A segunda vertente se atém à necessidade do desenvolvimento tecnológico envolvendo materiais, componentes e sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

Qualidade das águas de chuvas. A qualidade das águas de chuva se altera desde o início da precipitação, no escoamento sobre a superfície de captação, no sistema de tratamento e na reservação (ANNECHINI, 2005). Quando escoa sobre a superfície de captação a água lava e carreia resíduos diversos, compreendendo pós, fragmentos de vegetação, materiais que se soltam da cobertura e diversos microrganismos provenientes de excretas eliminados por animais que ficam acumulados na cobertura no intervalo entre duas chuvas.

Materiais particulados de diversas dimensões e microrganismos causam deterioração da qualidade das águas de chuva, com desenvolvimento de odores e sabores desagradáveis, além de riscos à saúde, cujos níveis ainda não são conhecidos. Além desses fatores, também características inerentes aos locais de captação da água de chuva podem influenciar na sua qualidade.

Outros fatores influenciam a qualidade da água. Citam-se a incidência de raios solares sobre as coberturas, os materiais de construção nela utilizados, a localização geográfica do local de captação (proximidade do oceano, áreas urbanas ou rurais), as condições meteorológicas (intensidade, duração e tipo de chuva, regime de ventos), a estação do ano (duração de períodos chuvosos ou secos) e o nível de poluição atmosférica.

Um exemplo de como as características do local de captação influenciam diretamente na qualidade da água de chuva é dado pelo estudo de caráter exploratório realizado em duas edificações localizadas na Zona Oeste da cidade de São Paulo, distantes apenas 8 km. A primeira edificação (ponto I) de captação apresenta cobertura composta por telhas de cimento amianto com superfície bastante porosa, antiga e alterada pelo fenômeno do intemperismo, além de uma laje. Ao seu redor há muitas árvores que, além de fonte de matéria orgânica, protegem a cobertura da incidência direta dos raios solares e favorecem a visita de um número significativo de animais, como pássaros e gatos. Já o segundo edifício (ponto II) de captação, apresenta cobertura composta por telhas do tipo cerâmico (francesa), que é menos poroso e não favorece a aderência de microrganismos, não há proximidade de vegetação, há pouca visita de animais e há exposição direta aos raios solares que pode favorecer a inativação de microrganismos mais sensíveis, seja pelo aquecimento da cobertura ou pela incidência dos raios ultravioleta. Os resultados obtidos para as análises microbiológicas e físico-químicas da água de chuva descartada do sistema de aproveitamento em um período de estiagem mais prolongada, de 54 dias no inverno, e outro chuvoso (primavera), para os dois pontos de captação, mostram claramente como qualidade da água pode ser afetada pelas características do ponto de captação (figura 5.6).

Nos referidos estudos em São Paulo os microrganismos do grupo coliformes estiveram presentes em todos os telhados e períodos de chuvas analisados, ao contrário dos microrganismos patogênicos *Salmonella* sp, *Shigella* sp, *Pseudomonas aeruginosa* e clostrídio sulfito redutor que se mostraram ausentes. Porém a potencialidade das águas de chuva de conterem microrganismos causadores de doenças é evidenciada em estudos nacionais e internacionais que determinaram em águas de chuvas escoadas de telhados a presença de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli, Salmonella sp*, *Shigella sp*, *Pseudomonas sp*, *Pseudomonas aeruginosa* e clostrídio sulfito-redutor (WIROJANAGUD *et al.*, 1989; BEATRICE E ONAKUFE, 2000; COOMBES *et al.*, 2000; MAY,

2004; REBELLO, 2004; TORDO, 2004). A presença dos protozoários *Cryptosporidium sp* e *Giardia sp* foi detectada em águas de chuva armazenadas em reservatório (CRABTREE *et al*., 1996).

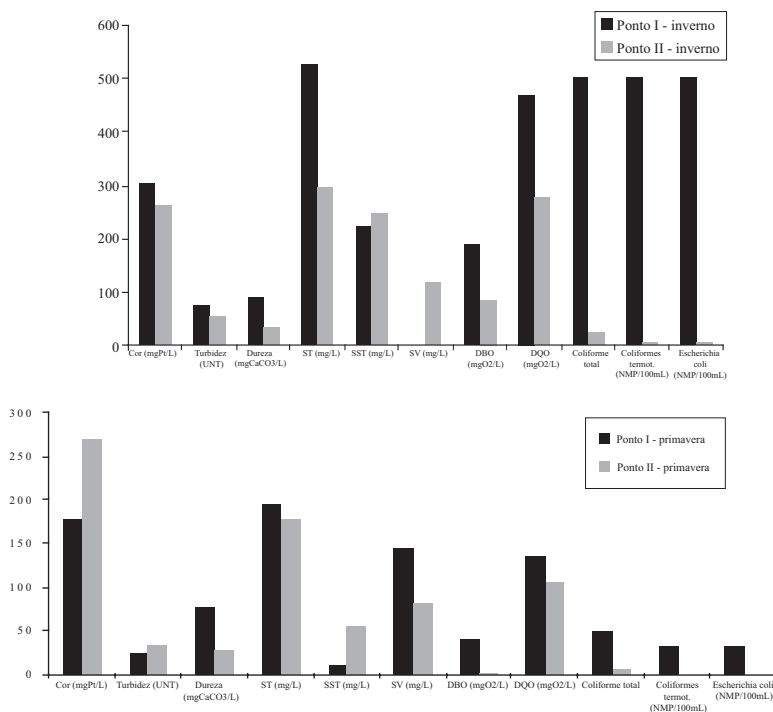
Considerando que em muitas regiões de escassez as águas de chuva são utilizadas para fins potáveis e que pode haver riscos da presença de patógenos nessas águas, ganha importância o estudo de seu tratamento, especialmente no que tange à desinfecção.

FONTE: IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS E TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Figura 5.6 — Resultados das análises microbiológicas e físico-químicas de águas de primeira chuva escoada de telhados em dois edifícios na Zona Oeste da cidade de São Paulo separados 8 km um do outro

O grau de contaminação das águas é usualmente aferido com base na densidade de organismos indicadores do grupo coliformes, no pressuposto de que há uma relação semiquantitativa entre a mesma e a presença de microrganismos patogênicos. A presença de organismos do grupo coliformes pode indicar falhas ou insuficiência no tratamento de águas. Rigorosamente, as bactérias do grupo coliformes são indicadores da inativação de bactérias patogênicas, não sendo indicadores adequados da

eficiência do tratamento em termos de inativação de vírus e protozoários. Em linhas gerais, bactérias e vírus são inativados pelo processo de desinfecção, enquanto os protozoários, preponderantemente, são removidos por filtração adequada (BRASIL-MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

Uma vez que a qualidade microbiológica das águas de chuva pode variar acentuadamente, havendo riscos da presença de microrganismos patogênicos específicos e considerando que em muitas regiões de escassez essas águas são utilizadas para fins potáveis, ganha importância o estudo de seu tratamento, especialmente em relação à capacidade de retenção dos filtros e métodos de desinfecção.

Estudos de avaliação do tratamento das águas de chuva para fins potáveis que utilizam sistema de filtração baseado em areia e/ou carvão ativado seguido de desinfecção por cloro ou raios ultravioleta (UV) mostram a eficiência destes na remoção de células vegetativas de bactérias do grupo coliformes. Porém, dependendo da área de captação ou do armazenamento da água, microrganismos capazes de desenvolver formas de resistência (endósporos, cistos e oocistos) podem potencialmente estar presentes, podendo ultrapassar o sistema de filtração ou não serem inativos por métodos de desinfecção comumente utilizados no tratamento da água. Dentre esses microrganismos estão a bactéria patogênica *Clostridium perfringens*, e os protozoários *Giardia sp*, *Cryptosporidium sp* e *Toxoplasma gondii*.

A dimensão aproximada dos cistos e oocistos é de 8 a 15 micrômetros, e 3 a 7 micrômetros, respectivamente. Apesar de ambos possuírem características similares de sedimentação e filtração, a remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por filtração é algo inferior à dos cistos de *Giardia*, sendo notória a capacidade de compressibilidade dos oocistos, os quais, durante a etapa de filtração, passam a se comportar como uma partícula de 2 a 4 micrômetros. Assim um pequeno número de oocistos pode chegar à água tratada e, por essa via, ser propagado aos consumidores. A ingestão de poucos cistos e oocistos pode causar infecção; experimentos com voluntários humanos demonstraram que a dose média infectante é ao redor de 9 a 1.042 oocistos, dependendo da cepa de *Cryptosporidium* e, para *Giardia*, a ingestão de apenas 10 a 25 cistos é suficiente para causar doença (FRANCO, 2007).

A utilização das águas de chuvas para consumo humano é frequente apesar de inúmeras recomendações para usos não potáveis e, mesmo para tais usos, não há diminuição do risco de uma eventual contaminação ao usuário, principalmente nos usos que envolvem o contato primário. A contaminação do homem por microrganismos patogênicos presentes em águas de chuva para usos não potáveis pode ocorrer pela ingestão acidental, pela inalação por bioaerossóis e pela penetração na mucosa e/ou pele com lesão tecidual. Uma vez que vários fatores podem interferir na presença

e sobrevivência de microrganismos nas superfícies de captação de água de chuva e, que esta pode transportar microrganismos patogênicos, recomenda-se que as águas de chuva sejam utilizadas apenas para usos não potáveis, após descarte das primeiras chuvas e com desinfecção.

O método de desinfecção para o tratamento de águas de chuva para fins não potáveis poderá ser simples e de baixo custo, porém eficiente, garantindo a eliminação dos microrganismos patogênicos e a viabilidade do aproveitamento. Porém, se o uso for para fins potáveis recomenda-se à utilização de sistemas de filtração eficientes na remoção de partículas, sendo esta eficiência determinada através do padrão de turbidez da água, indicador não biológico recomendado pela Portaria 518/200, garantindo a remoção de formas de resistências de microrganismos (endósporos, cistos e oocistos) e também o uso de processos de desinfecção adequados para inativação de microrganismos patogênicos.

Cabe mencionar que a comparação dos resultados apresentados na figura 5.6 mostra que as condições de entorno de maior proximidade e condições específicas podem ditar a qualidade da água de chuva obtida. Os valores obtidos nessas análises, em comparação com dados obtidos em medições realizadas em outras cidades (ver Phillipi *et al.*, 2006, por exemplo) acentuam a importância de circunstâncias locais na determinação da qualidade da água de chuva, além de fatores meteorológicos e de outras naturezas referidos acima.

Tecnologias de sistemas prediais de aproveitamento de água de chuva. De maneira genérica, a tabela 5.16 relaciona os 5 subsistemas (captação, condução, tratamento, armazenamento e distribuição) e seus respectivos componentes de sistemas prediais de aproveitamento de água de chuva. Além dos tópicos básicos constantes da tabela 5.16 podem compor o sistema equipamentos de bombeamento ou pressurização, sistemas eletromecânicos de automação, instrumentação de monitoramento, entre outras partes.

O sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva, quando corretamente dimensionado e executado, propiciará a obtenção de água de qualidade adequada aos usos não potáveis previstos. Os equipamentos, o projeto do sistema de aproveitamento de águas de chuva e os métodos de dimensionamento de reservatórios foram anteriormente explorados nas pesquisas anteriores do Prosab sobre o tema (GONÇALVES, 2006).

Tabela 5.16 > Componentes básicos de um sistema predial de aproveitamento de água de chuva

SUBSISTEMAS DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA				
Captação	**Condução**	**Tratamento**	**Armazenamento**	**Distribuição**
Telhados	Calhas	Filtros de material grosseiro	Reservatórios ou cisternas[1]	Tubulações, conexões e peças de utilização
Lajes	Caixas de amortecimento	Filtros de material fino		
Toldos	Tubos de queda, conexões e condutores horizontais	Dispositivos de descarte de primeira chuva		
Pátios específicos	Caixas de desvio e inspeção	Equipamento de desinfecção		

O crescimento da prática do aproveitamento em edifícios urbanos é crescente em todo o Brasil. A emergência sem par dos problemas ambientais e as possibilidades de redução de custos, aliados à relativa facilidade do aproveitamento, constituem as bases dessa expansão.

O fenômeno pode também ser observado em outros países. Entretanto, ainda hoje, a utilização de água de chuva como fonte para o abastecimento doméstico, utilizando-se simples coleta com ausência de tratamento, pode ser encontrada em situações em que não existe fornecimento de água potável por serviços públicos. Em regiões servidas por sistemas públicos de abastecimento, recomenda-se que a utilização das águas de chuva se restrinja aos usos não potáveis, observados critérios técnicos de captação e tratamento de forma a evitar danos a equipamentos e dar garantia sanitária da população usuária. Essa postura é firmada na norma brasileira pertinente (NBR 15527/07), expressando consenso no meio técnico.

O aumento nas taxas de urbanização e da contaminação do ar, bem como experimentos monitorados, além da observação de iniciativas de aplicação individual, fornecem indícios da necessidade da inserção de elementos de segurança nos sistemas de aproveitamento quanto à qualidade da água. Esses elementos não se restringem à remoção de poeira ou galhos e folhas, mas incorporam também equipamentos de descarte de água de primeira chuva, filtros e sistemas de desinfecção, tendo como pano de fundo a garantia sanitária, de forma a obter águas com qualidades adequadas aos usos pretendidos.

O aumento da prática do aproveitamento de água de chuva levou à proliferação de uma série de componentes de sistemas prediais específicos. Firma-se a tendência de mercado quanto à introdução de equipamentos industrializados para o aproveitamento dessa fonte alternativa de água. Encontrando o nicho de mercado aberto pela utilização de águas de chuva, algumas empresas em outros países deram início à fabricação de equipamentos destinados especificamente ao aproveitamento dessas águas. Alguns desses equipamentos são baseados nos equipamentos tradicionais ou

artesanais, adaptados à produção em larga escala de forma que possam ser vendidos em lojas de material de construção.

Os equipamentos industrializados compreendem uma gama de reservatórios produzidos exclusivamente ou não para o aproveitamento de águas pluviais, dispositivos de retirada da água de cisternas de sorte a não ressuspender o material ali depositado, separadores de sólidos e filtros, equipamentos para desinfecção de água, etc.

No Brasil, a existência de equipamentos industrializados para a separação dos sólidos para possibilitar o aproveitamento das águas de chuva é recente e baseado em tecnologias importadas, sendo grande parte do material à disposição do mercado efetivamente importado.

A figura 5.7 ilustra calhas, filtros e reservatórios industrializados produzidos em outros países dentre uma extensa gama de produtos voltados às demais diversas circunstâncias de aproveitamento de água de chuva. Alguns produtos desse tipo estão sendo vendidos no Brasil, mas em geral o preço é relativamente elevado quando comparado com os componentes de instalações prediais de água pluvial convencional.

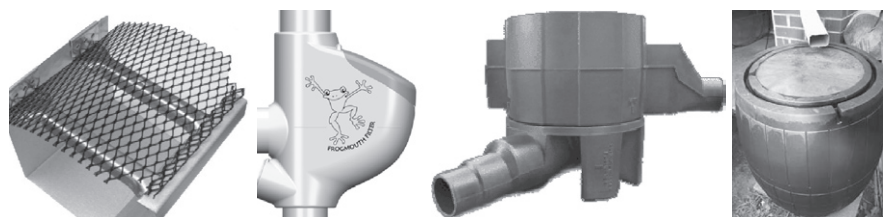
Dispositivos de descarte de águas de primeira chuva. Experimentos realizados mostraram que, em muitos locais, além da filtração, é imprescindível contar com dispositivo de descarte da água escoada nos primeiros momentos da precipitação, ou como vem sendo denominada, água de primeira chuva. Essa necessidade decorre do fato de que, após um período sem ocorrência de precipitações, o telhado ou cobertura terá recebido uma carga de substâncias e materiais diversos que ficam sobre eles deposi-

FONTES: HTTP://WWW.HOMEIDEAS.COM.AU; HTTP://WWW.SILVANH2O.COM.AU; HTTP://WWW.GEP.INFO; HTTP://WWW.SMM.ORG; WWW.3PTECHNIK.DE; HTTP://WWW.WISY.DE; HTTP://WWW.TIMTHETANKMAN.COM.AU; HTTP://WWW.TANDESERV.COM

Figura 5.7

Calhas, filtros e reservatórios industrializados fabricados no exterior
a) calha dotada de filtro de material grosseiro;
b) filtro de material grosseiro para ser inserido em tubo de queda;
c) filtro de material grosseiro para ser instalado na posição horizontal;
d) reservatório dotado de tela para remoção de material grosseiro;

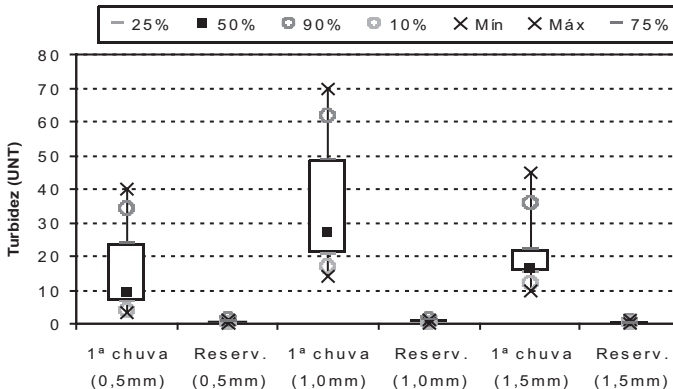
tados. Eles têm origem na poluição atmosférica, na presença de animais, em eventual vegetação, entre outras. Quando do evento da precipitação pluvial todo esse material será arrastado pelo escoamento das águas, ocorrendo uma lavagem natural. Tem particular importância aquela decorrente dos primeiros milímetros de chuva precipitada. Medições realizadas em Natal ressaltam a importância dos períodos iniciais da precipitação nos parâmetros de qualidade da água coletada (MELO & ANDRADE NETO, 2007, a). Esse primeiro escoamento dá origem a uma coleção de águas de primeira chuva que pode estar bastante poluída (figura 5.8). Nos resultados ilustrados pela figura, observa-se que em todas as etapas, a primeira chuva mostrou-se mais poluída, apresentando valores máximos de turbidez de 70 UNT. Verifica-se também que a partir da eliminação da primeira chuva, a chuva direcionada ao reservatório de armazenamento final é de melhor qualidade, apresentando valor máximo de turbidez de 1,2 UNT, para a chuva do reservatório após eliminar 0,5 mm de primeira chuva.

FONTE: ANNECHINI (2005)

Figura 5.8 Influência da lavagem do telhado (primeira chuva) na qualidade da água reservada na cisterna de um sistema de aproveitamento de água de chuva em Vitória-ES

O processo de lavagem das áreas de captação carreia, além do material grosseiro, também a parcela de substâncias e materiais mais finamente particulada que dão origem à parcela de sólidos dissolvidos da água captada. O dispositivo de descarte consegue remover também essa fração. Portanto, para evitar que essas primeiras águas se misturem às demais, ou seja, aquelas que escoarem após a primeira lavagem de telhado ou cobertura, é necessário segregá-las do montante que será aproveitado. Em determinadas circunstâncias, mesmo após longos períodos de chuva, a água escoada após o descarte poderá conter material particulado que passa pelo

filtro de grosseiros. Nesses casos será necessário contar com um filtro de finos. Nos experimentos realizados pelo IPT no âmbito do Prosab em bairros da Zona Oeste da cidade de São Paulo, o emprego de dispositivos de descarte se mostrou necessário no processo de tratamento da água de chuva.

O volume de água descartada depende das condições ambientais, da área do telhado, do regime de chuvas e da quantidade de água passível de descarte sem que haja comprometimento significativo das reservas do usuário. A NBR 15527/2007, que normatiza o aproveitamento de água de chuva coletada de telhados, sugere que o primeiro milímetro de água precipitado a cada chuva seja descartado. Nos estudos e experimentos apresentados por Annechini (2005), analisaram-se parâmetros de qualidade da água de águas de primeira chuva após 0,5 mm, 1,0 mm e 1,5 mm de precipitação. Constatou-se que o descarte após o primeiro milímetro (1,0 mm) de chuva constitui-se em valor adequado para projeto.

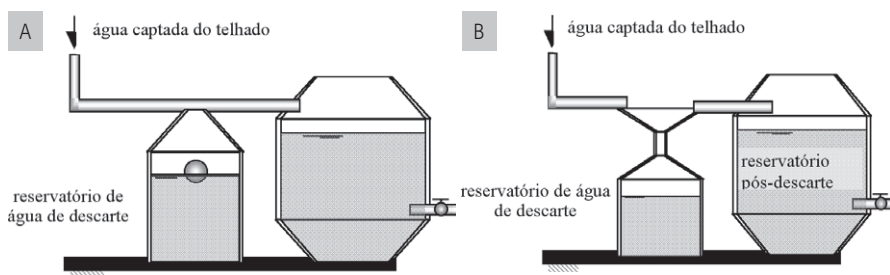
O dispositivo mais difundido para o descarte é esquematizado na figura 5.9 a. É constituído de um reservatório com capacidade adequada ao armazenamento da água de primeira chuva a ser descartada. No interior do reservatório de água de descarte é colocada uma esfera de densidade inferior à da água, com diâmetro maior que o da entrada do reservatório. Assim que o nível da água de descarte atinge o limite de projeto, a esfera impede a passagem da água, desviando-a para o reservatório de aproveitamento.

FONTE: DR. LUCIANO ZANELLA (IPT)

Figura 5.9 Dispositivos de descarte de primeira chuva

Uma variação simplificada do sistema da esfera flutuante pode ser visto na figura 5.9 b. O sistema conta com um reservatório para o armazenamento da água de primeira chuva ligado à tubulação de escoamento da água que vem do telhado. A ligação entre o reservatório e o tubo é feita por um gargalo que permite que a água entre e se acumule no interior do tanque. Apesar de bastante empregado, nesse sistema é necessário investigar a possibilidade de mistura da água de primeira chuva armazenada após o

tanque de descarte estar preenchido com a água que escoa em direção ao reservatório para utilização.

Outra solução bastante prática é apresentada por Melo & Andrade Neto (2007, b) em aproveitamento experimental realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, conforme ilustração na Figura 5.10. Trata-se de uma configuração mais sim-

FONTE: MELO & ANDRADE NETO (2007 B); FOTOS PELO PROF. CÍCERO ONOFRE DE ANDRADE NETO

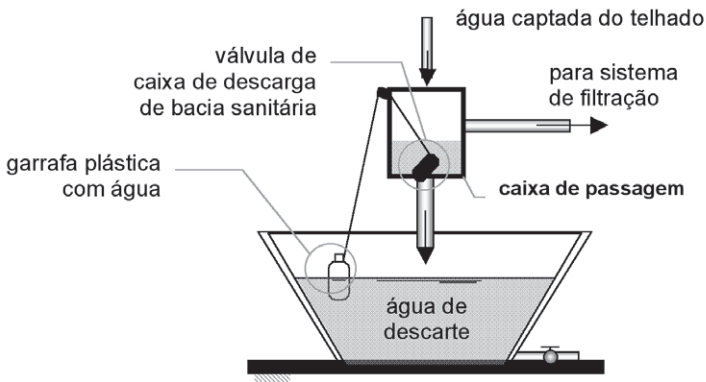
Figura 5.10 Dispositivo de descarte de derivação direta do tubo condutor

FONTE: DR. LUCIANO ZANELLA (IPT)

Figura 5.11 Dispositivo de descarte tipo comporta

ples que a da figura 5.9 b, pois pode ser construída simplesmente com a derivação da tubulação que conduz a água captada na cobertura. Preenchido o reservatório para o armazenamento da água de primeira chuva, as águas posteriormente precipitadas seguem para o reservatório de água de chuva a ser aproveitada. Também nesse caso é necessário investigar a possibilidade de mistura da água de primeira chuva armazena-

da após o tanque de descarte estar preenchido com a água que escoa em direção ao reservatório para utilização.

Um exemplo de um sistema de descarte desenvolvido pelo próprio usuário poder ser visto na figura 5.11. Elaborado e construído por um morador da cidade de São Paulo, o sistema baseia-se em reservatório de descarte alimentado de uma válvula usada em caixas de descarga de bacia sanitária. Essa válvula tem a abertura regulada pela flutuabilidade de garrafa no interior do reservatório de descarte, conforme ilustra a figura 5.11. O comprimento do fio que liga a garrafa à válvula pode ser ajustado facilmente de acordo com o volume de água de descarte que se deseja armazenar no reservatório inferior. Assim que o nível desejado no reservatório de descarte é atingido, a válvula se fecha pela ação de seu próprio peso. Fechada a válvula, o nível d'água sobe na caixa de passagem atingindo a tubulação de saída para o reservatório pós-descarte ou para dispositivo de filtração.

Em experimentos realizados no IPT observou-se que o bocal de entrada do reservatório de descarte pode ser obstruído por folhas, gravetos e corpos de animais mortos. Esse fenômeno faz com que o sistema de descarte de primeira água não funcione e a água poluída alcance o reservatório de água para aproveitamento. Nesses casos mostrou-se necessário promover a filtragem de material grosseiro antes do dispositivo de descarte.

Cilento (2008) desenvolveu e patenteou um dispositivo que conjuga filtração de material grosseiro, descarte de primeira água e armazenamento de água de chuva. O dispositivo (figura 5.12) foi projetado de forma a ser compacto o suficiente para ser utilizado em edificações já existentes sem a necessidade de intervenções nas instalações hidráulicas de captação e condução de água pluvial. O sistema conta com duas telas inclinadas sobrepostas responsáveis pela remoção dos sólidos da água, posicionadas sobre um reservatório de acumulação de água de primeira chuva. O funcionamento do separador de água de primeira chuva baseia-se em uma comporta móvel que possui em sua extremidade livre uma barra de elemento flutuante. Assim que o nível do reservatório de água de primeira chuva atinge seu nível máximo de projeto a comporta é fechada, encaminhando a água para o reservatório de água a ser aproveitada. O uso previsto para a água coletada por esse sistema é a limpeza de pisos e rega de jardins.

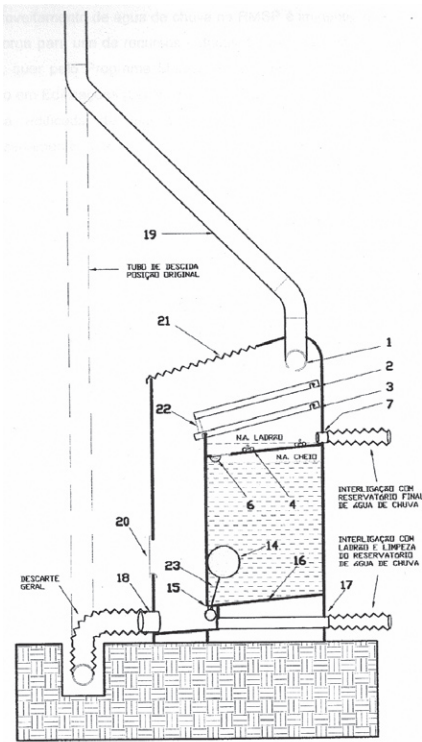
Desenvolvimento de procedimento normativo para avaliação de desempenho de componentes de sistemas prediais de aproveitamento de água de chuva – Projeto do IPT. A qualidade das águas de chuva varia consideravelmente dependendo das condições do entorno, tipo de cobertura, presença de animais ou vegetação ao redor e, no uso, de acordo com os componentes instalados no sistema de aproveitamento como filtros, dispositivos de descarte, sistemas de desinfecção, etc.

FONTE: CILENTO (2008)

Figura 5.12	Dispositivo de filtração de material grosseiro, descarte tipo comporta flutuante e armazenamento

Os componentes utilizados no sistema de captação e armazenamento das águas de chuva levam a uma diferença volumétrica entre a quantidade de água que cai em um telhado sob a forma de precipitação e aquela efetivamente a ser captada e armazenada para utilização. Essas perdas de volume estão ligadas, entre outros fatores, à evaporação da água quando atinge o telhado, à absorção pelas telhas, ao volume descartado como água de primeira chuva e à eficiência dos equipamentos utilizados antes do reservatório em aproveitar essa água.

Aliado à eficiência de aproveitamento permitida pelos equipamentos existe a capacidade desses mesmos equipamentos de melhorar a qualidade da água, peças fundamentais para que sua utilização seja feita de maneira confiável e com baixo risco à saúde. Os equipamentos existentes no mercado não trazem informações quanto à eficiência de aproveitamento de água e de capacidade de melhoria de sua qualidade. Para tanto existe a necessidade de se estabelecer um conjunto de critérios que, em primeira instância, deverão ser verificados nos equipamentos existentes e, mais adiante, funcionar como um conjunto de características mínimas que informem quão eficiente determinado equipamento é, suas características de aplicação e sua conformidade à normalização, entre outras informações fundamentais ao projetista, ao instalador, aos usuários e aos próprios fabricantes.

O aproveitamento de água de chuvas em edifícios engendrou uma gama de soluções alternativas acompanhadas do desenvolvimento de sistemas e componentes prediais que deu lugar a plataformas tecnológicas ora em desenvolvimento que, apesar de sua proximidade aos sistemas tradicionais de instalações prediais de água pluvial, constituem um conjunto novo de produtos com propósitos específicos diferenciados e

inovadores. Nesse contexto nasce a necessidade do estabelecimento de bases técnicas uniformes que orientem os agentes envolvidos com essas tecnologias no sentido de obter os resultados que os propósitos conservacionistas subjacentes ensejam.

O ferramental metodológico da avaliação de desempenho se apresenta como instrumento adequado para o estabelecimento das referidas bases técnicas. A base conceitual dessa metodologia foi estabelecida pelo *Conseil International Du Batiment* (CIB) na década de 1970 do século passado e constituiu o referencial de um robusto corpo normativo aplicado principalmente ao segmento da construção civil, abrangendo sistemas construtivos, elementos e componentes (SOUZA & MITIDIERI, 1988). Uma característica marcante da metodologia é sua potencialidade na avaliação de produtos inovadores de uma vez que, contrariamente à normatização prescritiva, ela busca verificar o atendimento das necessidades e dos desejos dos usuários frente ao desempenho de produtos submetidos a condições ambientais e de uso previamente definidas ou verificadas. Assim, independente de materiais, dimensões, mecanismos de funcionamento e outras características de diferentes produtos, a metodologia permite avaliá-los segundo bases técnicas uniformes.

A metodologia pode ser resumida nos seguintes procedimentos sequenciais:

a) identificação das exigências do usuário;

b) identificação das condições de exposição a que está submetido o material, produto ou sistema;

c) definição dos requisitos (qualitativos) e critérios (quantitativos) de desempenho a serem atendidos; e

d) definição dos métodos de avaliação.

A título de primeiro exercício visando ao desenvolvimento ulterior, a metodologia é aplicada de forma simplificada aos componentes de sistemas de aproveitamento de água de chuva. A seguir são apresentas as exigências do usuário e os requisitos correspondentes para filtros de materiais grosseiros, dispositivos de descarte e cisternas. Às exigências dos usuários apresentadas devem ser acrescentadas as de cunho econômico que podem ser abordadas segundo a óptica de cada tipo de usuário em particular. No caso do morador da habitação, por exemplo, importará o custo do componente ou sistema relativamente aos benefícios proporcionados, considerando o tempo útil da habitação, incluídos os custos com projeto e investimento inicial.

A lógica da metodologia é facilmente apreensível na aplicação aos componentes de sistemas de aproveitamento de água de chuva. Inicialmente são expressas as necessidades e desejos do usuário que, por sua vez, são expressos na forma de *requisitos qualitativos* de desempenho. Estes dão lugar a *critérios quantitativos* de desempenho.

Tais critérios poderão ser finalmente verificados sob diversas formas: em testes laboratoriais padronizados, por meio de cálculos baseados em teorias consagradas ou por outro meio de aceitação consensual.

• *Avaliação de desempenho de filtros de material grosseiro*

A tabela 5.17 apresenta as exigências dos usuários e os requisitos de desempenho decorrentes, aplicados a filtros de material grosseiro.

A continuidade da aplicação da metodologia leva à definição de critérios quantitativos de desempenho associados a cada requisito acima estabelecido. Tem-se assim um processo em forma de árvore: exigências que engendram requisitos que, por sua vez, implicam em critérios que são, finalmente, verificados segundos métodos diversos.

No presente estágio de desenvolvimento da avaliação de desempenho de filtros de material grosseiro foi possível estabelecer critérios preliminares e métodos de avaliação para alguns dos requisitos de desempenho definidos acima. A seguir são apresentados os requisitos comentados, os critérios decorrentes e o método de avaliação desenvolvido. Os resultados dos ensaios sobre filtros obtidos no mercado brasileiro são apresentados ao final do capítulo.

Requisito a1) retenção de folhas, insetos, galhos, gravetos e outros materiais particulados: a principal finalidade dos filtros é a remoção de material discreto suspenso como folhas, galhos, insetos. Esse material é variável de acordo com as condições do entorno do local onde o filtro é instalado. Observações de campo sobre amostras de material escoado em águas de primeira chuva mostraram materiais particulados de diversa origem, densidade, formato e em quantidades variáveis. A figura 5.13 a ilustra uma coleção típica desses materiais, coletada no *campus* do IPT, onde há grande quantidade de árvores.

A exemplo de outros testes laboratoriais com componentes de instalações prediais desenvolveu-se um *kit* sintético de simulação do material particulado observado em campo. A figura 5.13 b apresenta os componentes desse *kit*. O *kit* torna-se uma proposta de material de simulação laboratorial padrão para verificação da eficiência dos filtros quanto a esse requisito. Foram observados na escolha dos materiais de simulação densidades, dimensões e formatos similares ao do material natural coletado. O *kit* de simulação tem a seguinte composição:

- papel vegetal gramatura 80g.m² diâmetro 0,5 cm (100 unidades);
- papel vegetal gramatura 80g.m² com dimensões 8,0 cm por 4,0 cm (20 unidades);
- fibras vegetais de piaçava com 10 cm de comprimento (100 unidades); e
- palitos de dente (50 unidades).

Tabela 5.17 > Exigências do usuário e requisitos de desempenho de filtros de materiais grosseiros
Capacidade para obter água de qualidade adequada aos usos pretendidos
retenção de folhas, insetos, galhos, gravetos e outros materiais particulados;
separação adequada das porções de água para uso e descarte;
interação com a água sem transferência de características inadequadas do material de suas partes ao líquido.
Capacidade de obter água em quantidade suficiente para os usos pretendidos
aptidão de obtenção de água filtrada segundo faixas de áreas de captação a que se destina;
aproveitamento de água segundo eficiência estabelecida para diferentes intensidades de precipitação;
Permitir fácil manutenção
permitir fácil limpeza ou ser autolimpante;
não obstruir as tubulações de águas pluviais mesmo com acúmulo de material retido;
não causar espalhamento de água de descarte ou borrifos em local indesejado;
possuir fácil acesso ao compartimento de filtração para limpeza ou substituição de partes;
Permitir fácil instalação
ter compatibilidade dimensional com tubulações, conexões e demais componentes do sistema predial de aproveitamento de água de chuva;
ter dimensões adequadas ao uso pretendido;
ter formato ou forma de instalação que não interfira negativamente ou modifique intensamente o padrão arquitetônico em edifícios existentes;
possibilitar instalação em local de fácil acesso.
Ter resistência ao uso e a eventos acidentais
resistência mecânica ao uso normal;
resistência mecânica perante acidentes como choques e impactos;
resistência a intempéries e eventos climáticos próprios do local.
Ser durável
ter vida útil compatível com a do edifício ou com suas partes (instalações prediais hidrossanitárias, por exemplo).
Comportamento adequado no evento de incêndio
não propagar chama.

Para realização do ensaio laboratorial o filtro é instalado de acordo com as recomendações do fabricante. A vazão de ensaio deve ser previamente estabelecida e compatível com a faixa de valores prevista pelo fabricante para emprego do filtro. Em testes labo-

ratoriais sobre filtros adquiridos no mercado brasileiro adotou-se vazão de 10 L.min. Esse valor de vazão corresponde ao escoamento resultante de uma precipitação pluvial de intensidade constante de 7,5 L.m^2.s sobre uma cobertura de 100 m^2. Essa intensidade de precipitação foi classificada como *média baixa* considerando o regime de chuvas em São Paulo e os valores resultantes da equação de chuvas intensas na cidade.

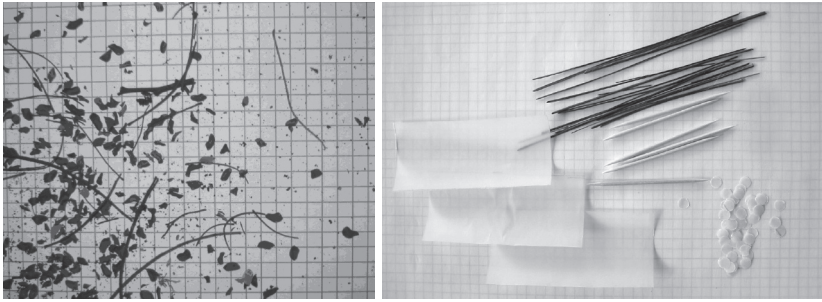



Figura 5.13 (a) Material particulado típico de coletas em campo e (b) *kit* de simulação para ensaios laboratoriais

A eficiência quanto à remoção de material discreto é obtida verificando-se a porcentagem de material retido após filtragem do escoamento que contém o material de simulação misturado. A figura 5.14 apresenta o elemento filtrante de um dos filtros ensaiados após o término do escoamento, ilustrando a forma como o material é retido e permanece na grade (a), além da inserção e do aprisionamento de material na grade (b).

Requisito b2) aproveitamento de água segundo eficiência estabelecida para diferentes intensidades de precipitação: os filtros não são capazes de aproveitar toda a água que por eles escoam. Parte dessa água é aproveitada e parte descartada para o sistema de águas pluviais. A avaliação do aproveitamento de água tem como objetivo avaliar a eficiência do aproveitamento da água de forma que diferentes componentes possam ser comparados e que o sistema de captação e armazenamento possa ser mais bem dimensionado levando em conta as perdas de água ocasionadas pela inserção do equipamento.

Os equipamentos de filtração de águas de chuva contam, usualmente, com dois fluxos de saída: a água "filtrada" e a água "perdida". A água filtrada é aquela que é aproveitada pelo sistema de filtração e segue para o armazenamento. A água perdida é aquela não aproveitada pelo sistema e que é encaminhada para a rede coletora de águas pluviais. A medida da eficiência de aproveitamento de água é feita introduzindo-se no equipa-

mento uma vazão estipulada e medindo o volume da água perdida para o calculo da eficiência percentual. Com base em pesquisas referentes ao regime de ocorrência das chuvas em São Paulo, as vazões de teste estipuladas como referência são:

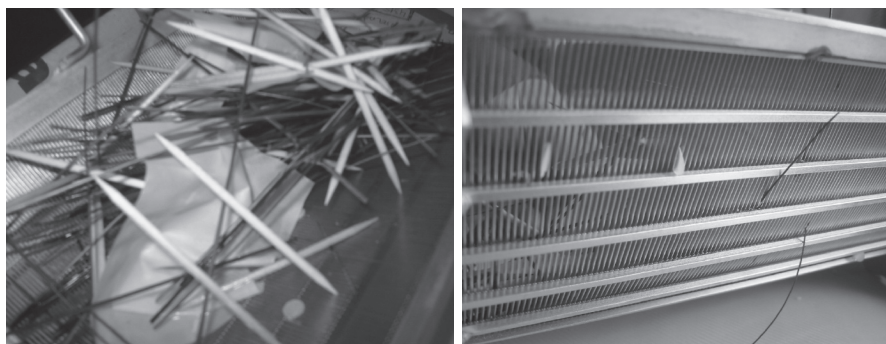
- baixa 1 L·min
- média baixa 10 L·min
- média 80 L·min
- média alta 170 L·min
- alta 270 L·min

FONTE: IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Figura 5.14 Material retido no elemento filtrante após ensaio de retenção de material grosseiro

Os valores limites de eficiência segundo o valor da vazão quanto ao aproveitamento de água não foram estabelecidos, pois há necessidade de uma verificação mais abrangente sobre as diversas condições de aplicação e as diversas soluções desse importante componente. Desse desenvolvimento será possível estabelecer tais limites.

Exemplos de desempenho de filtros disponíveis no mercado brasileiro, no que se refere ao aproveitamento de água segundo a vazão, foram observados em ensaios laboratoriais realizados no IPT. A figura 5.15 ilustra a capacidade percentual de aproveitamento de água, segundo as vazões estipuladas, em seis filtros adquiridos no mercado brasileiro.

Requisito c1) permitir fácil limpeza ou ser autolimpante: o material separado da água pelo filtro pode acarretar procedimentos especiais de manutenção a cada chuva influenciando diretamente na facilidade operacional do equipamento. Não foi estabelecido critério numérico para o critério de desempenho correspondente. Observou-se em laboratório que os procedimentos de limpeza se diferenciam segundo o tipo de

filtração de cada modelo de filtro. Apesar de haver uma boa capacidade de retenção de material grosseiro nos diversos modelos ensaiados, observou-se que, em alguns casos, o material particulado fica preso ao elemento filtrante, conforme ilustra a figura 5.14 a). Esse fenômeno leva à necessidade da retirada do material a cada ocorrência de precipitação pluvial e acarreta prejuízo ao aproveitamento das águas, conforme o requisito b2 estabelece. Essa ocorrência foi observada apesar de todos os filtros ensaiados serem classificados como autolimpantes pelos respectivos fabricantes.

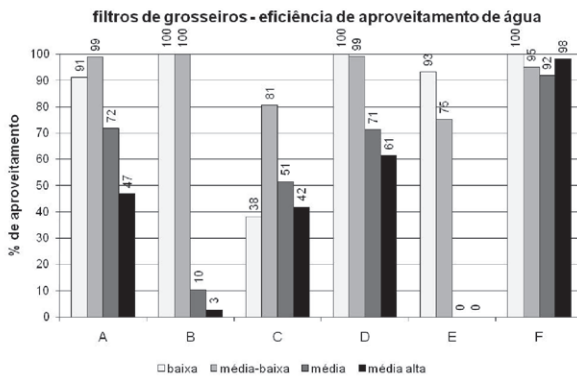



Figura 5.15 Percentual de aproveitamento de água de chuva por vazão de escoamento, em seis modelos de filtros (A, B, C, D, E e F)

Requisito d1) ter compatibilidade dimensional com tubulações, conexões e demais componentes do sistema predial de aproveitamento de água de chuva: como parte de um sistema de aproveitamento de água de chuva o filtro deverá se integrar perfeitamente ao restante do sistema. A avaliação se debruça principalmente sobre a compatibilidade de diâmetros e formas de conexão. Dado o estágio inicial de desenvolvimento das soluções é razoável estabelecer que a compatibilidade dimensional e as formas de conexão sejam compatíveis com a norma brasileira de instalações prediais de água pluvial. Nas verificações efetuadas sobre filtros adquiridos no mercado brasileiro observou-se que em alguns casos não há possibilidade de conexão entre o filtro e os tubos e conexões de água pluvial fabricados no Brasil, exigindo adaptações inadmissíveis.

• Avaliação de desempenho de dispositivos de descarte de água de primeira chuva. Os equipamentos de descarte de água de primeira chuva

Tabela 5.18 > Exigências do usuário e requisitos de desempenho de dispositivos de descarte de primeira chuva

Capacidade de obter água de qualidade adequada aos usos pretendidos
separar a água de primeira chuva, de qualidade indesejável;
ter versatilidade para alteração no volume de água descartado para possibilitar adaptações ao regime de chuvas (inverno ou verão) e à especificidades das condições locais;
impedir ou dificultar o contato entre a água retida (contaminada) e aquela destinada às etapas subseqüentes do sistema de aproveitamento.
Conseguir água em quantidade suficiente para os usos pretendidos
ter versatilidade para alteração no volume de água descartado para possibilitar adaptações ao regime de chuvas (inverno ou verão) e à especificidades das condições locais;
possuir controle de esvaziamento do reservatório que possa ser regulado de acordo com as condições locais ou feito de forma manual;
não provocar ou minimizar a perda de água após ter descartado o volume de primeira chuva previsto.
Permitir fácil manutenção
permitir fácil acesso ao compartimento de separação das águas;
permitir fácil acesso ao compartimento de armazenamento de água de descarte, se houver;
ser de fácil limpeza ou autolimpante;
não obstruir as tubulações de águas pluviais mesmo quanto com acúmulo de material retido;
não causar acumulo espalhamento de água em local indesejado;
permitir o controle ou regulagem do esvaziamento do reservatório de água retida, se houver.
Permitir fácil instalação
ter compatibilidade dimensional com tubulações, conexões e demais componentes do sistema predial de aproveitamento de água de chuva;
ter dimensões adequadas ao uso pretendido;
ter formato ou forma de instalação que não interfira negativamente ou modifique intensamente o padrão arquitetônico em edifícios existentes;
possibilitar instalação em local de fácil acesso.
Ter resistência ao uso e a eventos acidentais
resistência mecânica ao uso normal;
resistência mecânica perante acidentes como choques e impactos;
resistência a intempéries e eventos climáticos próprios do local.
Ser durável
ter vida útil compatível com a do edifício ou com suas partes (instalações prediais hidrossanitárias, por exemplo).
Comportamento adequado no evento de incêndio
não propagar chama.

Os equipamentos de descarte de água de primeira chuva, peças fundamentais no sistema de aproveitamento de águas pluviais, também foram objeto de aplicação da metodologia de avaliação de desempenho. A seguir são apresentadas as exigências dos usuários e os requisitos de desempenho decorrentes, aplicados aos dispositivos de descarte de primeira chuva na tabela 5.18.

Os critérios de avaliação utilizados para os testes dos equipamentos de descarte de água de primeira chuva foram: a versatilidade do sistema, a possibilidade de contaminação e a exequibilidade e aplicabilidade da proposta. Entende-se por versatilidade do sistema a possibilidade de adaptação ou mudança do volume descartado com o sistema já em funcionamento. Trata-se da possibilidade de implementação de correções no volume descartado, baseado na experiência obtida pela verificação da qualidade da água no local onde o equipamento estiver instalado, permitindo o ajuste da quantidade descartada em função da qualidade da água obtida.

O equipamento de descarte de primeira água deve, como sugerido pela sua denominação, promover o descarte da primeira água de chuva, sabidamente contaminada, e impedir o contato e a mistura da água descartada com a água que chega ao sistema após o descarte, contato esse que pode culminar na contaminação da água da cisterna pelos agentes poluidores presentes na água de descarte, não cumprindo a função primordial do equipamento. O equipamento de descarte de primeira água de chuva não necessariamente deverá atender a todas as tipologias e dimensões de telhados possíveis. Há, certamente, um tipo de projeto mais adequado para cada situação. Essas condições são avaliadas nos quesitos aplicabilidade e exequibilidade.

• ***Avaliação de desempenho de reservatórios ou cisternas***

A avaliação de desempenho também pode ser aplicada aos componentes de reservação da água: caixas d'água, tanques e reservatórios ou cisternas. Esse equipamento, por guardar similaridades funcionais e construtivas com os reservatórios de água potável, possui um arcabouço normativo em vigor. A normalização e regulamentação foram elaboradas e detalhadas de forma a garantir a eficiência da reservação sem que ocorra a contaminação da água por agentes externos ou pelo próprio material pelo qual é confeccionado o equipamento, já que nessa parte do sistema ocorre contato prolongado entre a água e as paredes das cisternas. Os requisitos de desempenho podem ser aplicados conforme a tabela 5.19, que apresenta as exigências dos usuários e os requisitos de desempenho decorrentes, aplicados a cisternas ou reservatórios.

Os reservatórios ou cisternas podem ser comparados aos reservatórios utilizados para o acúmulo de água potável. Por se tratar de uma utilização bastante difundida e praticamente imprescindível à infraestrutura urbana, existe uma extensa normatização

referente ao assunto que, guardadas as devidas proporções, pode ser aplicável às cisternas comumente utilizadas em meio urbano.

As principais normas referentes aos reservatórios, ou como são mais popularmente designadas, as "às caixas d'água", são:

- NBR 10.354 – Reservatórios de poliéster reforçado com fibra de vidro; 1/7/1988
- NBR 13.194 – Reservatório de fibrocimento para água potável – Estocagem; montagem e manutenção; 30/04/2006
- NBR 13.210 – Reservatório de poliéster reforçado com fibra de vidro para água potável – Requisitos e métodos de ensaio; 30/12/2005
- NBR 14.799 – Reservatório poliolefínico para água potável – Requisitos; 01/02/2002
- NBR 14.863 – Reservatório de aço inoxidável para água potável; 1/6/2002
- NBR 5.649 – Reservatório de fibrocimento para água potável - Requisitos; 30/4/2006
- NBR 5.650 – Reservatório de fibrocimento para água potável – Verificação da estanqueidade e determinação dos volumes útil e efetivo – 30/4/2006

Tabela 5.19 > Exigências do usuário e requisitos de desempenho de cisternas ou reservatórios

Manutenção da qualidade da água
não alterar as características da água pela interação com o material de confecção do reservatório;
possibilidade de adaptação de instalações hidráulicas de forma que possa ocorrer a decantação de material particulado fino no interior do tanque sem que ocorra ressuspensão;
acesso restrito a insetos, roedores e outros animais;
estanqueidade para que não haja penetração de água do solo ou outra fonte que possa contaminar a água armazenada;
opacidade do material de confecção do reservatório para evitar a proliferação de algas devido a penetração de luz solar;
aberturas com tampas para evitar a entrada de poeira ou outros contaminantes.
Manutenção da quantidade de água conseguida pelo sistema de captação
estanqueidade das paredes para evitar perdas de água por vazamentos, trincas e fissuras;
estanqueidade de tampas e conexões para minimizar perda de água por evaporação;
Adequação ao volume de projeto
permitir adequação de volume de reservação aos valores projetados segundo área de captação e pluviosidade da localidade onde for aplicada.
Permitir fácil manutenção
permitir fácil acesso a todas as suas partes para limpeza e operações de manutenção;
permitir fácil visualização do interior e acesso a partes internas para reparo, troca ou ajuste;
permitir fácil limpeza e desinfecção, se for o caso;
permitir instalação de tubulações, peças e acessórios de maneira segura e com possibilidade de ajustes e trocas;
permitir o esvaziamento do reservatório de maneira completa.
Permitir fácil instalação
ter compatibilidade dimensional com tubulações, conexões e demais componentes do sistema predial de aproveitamento de água de chuva;
ter dimensões adequadas ao uso pretendido;
ter formato ou forma de instalação que não interfira negativamente ou modifique intensamente o padrão arquitetônico em edifícios existentes;
possibilitar instalação em local de fácil acesso.
Ter resistência ao uso e a eventos acidentais
resistência mecânica ao uso normal;
resistência mecânica perante acidentes como choques e impactos;
resistência a intempéries e eventos climáticos próprios do local.
Ser durável
ter vida útil compatível com a do edifício ou com suas partes (instalações prediais hidrossanitárias, por exemplo).
Comportamento adequado no evento de incêndio
não propagar chama.

Sistema experimental de aproveitamento de águas de chuva para lavagem de pisos de cozinha e refeitório industrial – Projeto do IPT. O sistema de aproveitamento de água de chuva instalado no IPT tem função dupla: serve como bancada de avaliação de desempenho de componentes e permite o aproveitamento da água de chuva para lavagem do piso da cozinha e do refeitório do instituto, que serve uma média de duas mil refeições por dia.

Dependendo do local de coleta e da intensidade da pluviosidade, a água das chuvas pode apresentar características que a tornem indesejáveis à sua utilização como cor, turbidez, presença de matéria orgânica, baixo pH e presença de microrganismos. Esses aspectos mereceram muita atenção nessa aplicação, pois o *campus* do IPT tem grande quantidade de árvores e a cozinha e o refeitório são cercados por cibipirunas e outras espécies. A presença de pássaros, gatos e ratos é facilmente observável.

As características indesejáveis da água a ser aproveitada, dada a presença dos referidos fatores adversos, precisam ser corrigidas por um sistema de tratamento antes de sua utilização. A preocupação primordial no sistema utilizado foi relativa à segurança quanto ao uso da água, já que o local de utilização compreende a cozinha e o refeitório do IPT, submetidos a rigoroso controle sanitário. Foram feitas entrevistas com os responsáveis pela operação da cozinha e refeitório e um acompanhamento *in loco* da rotina de uso da água. Ressalta-se a importância de conhecer os procedimentos envolvidos nas atividades em que se busca substituir a água potável pela água de chuva de forma a minimizar os riscos envolvidos nessa substituição.

O sistema de aproveitamento implantado conta com filtro de sólidos grosseiros seguido pelo descarte de água de primeira chuva, filtro de finos, sistema de reservação e desinfecção. O filtro utilizado nos testes iniciais é um modelo alemão não comercializado no Brasil. A água aproveitada segue para o dispositivo de descarte do tipo comporta, conforme a figura 5.11, com capacidade de descarte de 400 L, compatível com os 400 m^2 de área de captação utilizados para o sistema.

A água aproveitada segue para um dispositivo de remoção de sólidos finos formado por um filtro de areia precedido de um anteparo de distribuição de água (Alves *et al.*., 2008). O sistema de reservação é composto por um reservatório apoiado sobre o solo de 7 m^3. Deste reservatório a água é bombeada para um reservatório elevado de 1 m^3, de onde parte o sistema de distribuição para os usos determinados. O sistema é totalmente automatizado por meio de sistema eletromecânico e a complementação de água na época de estiagem é feita com água potável. O sistema está sendo instrumentado visando estabelecer os balanços hídricos e energéticos. A desinfecção será testada segundo três sistemas: cloração, ultravioleta e ozonização.

A figura 5.16 ilustra parte do sistema de aproveitamento e avaliação de componentes instalado no IPT.

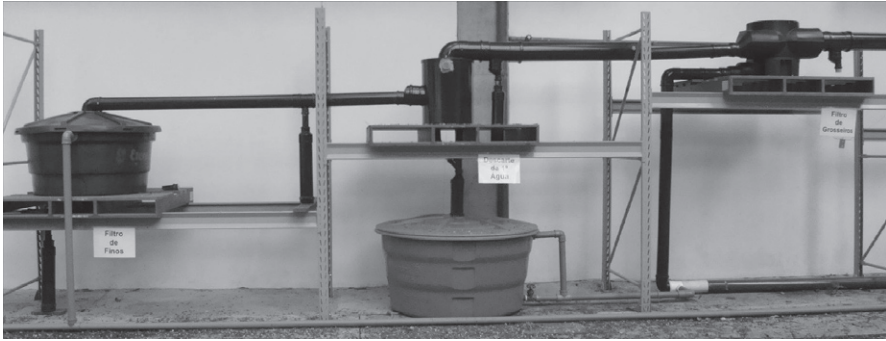



Figura 5.16 Vista parcial da bancada experimental de aproveitamento de água de chuva do IPT (da direita para a esquerda: filtro de material grosseiro, dispositivo de descarte de primeira águas e filtro de finos)

Entre os diversos componentes do sistema existem amostradores automáticos tipo garrafa com esfera, com volume de 3 L, similares ao dispositivo de descarte de primeira água de chuva, que permitem avaliar a mudança na qualidade da água.

O filtro de finos, com meio filtrante de areia, apesar de proporcionar uma melhoria significativa quanto a turbidez e presença de sólidos na água final, engendrou operações de manutenção superiores aos desejáveis, perdendo eficiência após quatro ou cinco chuvas. Com o passar do tempo o filtro passou a conferir características indesejáveis para a água armazenada (cor e turbidez, principalmente), exigindo lavagem cuidadosa da areia.

Em qualquer que seja a atividade, a utilização da água de chuva exigirá um programa de conscientização e treinamento de todos os usuários, em especial na utilização em questão devido ao cuidado sanitário exigido para o uso da água nas proximidades de alimentos e utensílios de cozinha. Esse programa deve atingir todos os envolvidos nos processos, da a os funcionários que realmente utilizam a água. Apesar de existir pequena chance de contaminação da água após o sistema de tratamento, a mudança de rotina em local onde a qualidade sanitária dos elementos presentes é rigorosa, causando certa resistência.

Quando da utilização da água de chuva no interior da cozinha, as tubulações distribuição deverão ser claramente sinalizadas como sendo de água não potável. O número de pontos de obtenção da água deverá ser o menor possível e sempre contando com dispositivo de segurança como engates rápidos ou torneira com manopla removível.

Tendo em vista a importância que ganhou o componente cultural e operacional, um programa específico, muito mais detalhado e rigoroso que o inicialmente imaginado, está sendo levado a efeito com a participação ativa da nutricionista responsável pela operação do sistema cozinha-refeitório.

5.3.2 Fontes alternativas: reúso de águas cinza

Uma revisão ampla sobre as diversas abordagens do gerenciamento de águas cinza em edificações foi realizada por Gonçalves (2006). Segundo os autores, podem ser definidas como águas cinza aquelas provenientes dos diversos pontos de consumo de água da edificação, excetuando as águas residuárias de vasos sanitários, que possuem elevada concentração de nutrientes e microorganismos patogênicos.

São fontes produtoras de águas cinza: chuveiros, lavatórios, banheiras, máquina de lavar roupa e tanque. Existe alguma controvérsia no meio técnico a respeito da utilização das águas provenientes da pia da cozinha como fonte de água cinza. Reticências surgiram de experimentos práticos que mostraram que o aproveitamento de águas cinza originadas na cozinha apresenta um complicador técnico constituído pela presença de altos teores óleos e gorduras e matéria orgânica. Dessa forma, em aplicações experimentais de aproveitamento de águas cinza, as águas provenientes de pias de cozinha e de máquinas lavadoras de pratos e outros utensílios, têm sido evitadas.

O reúso de águas cinza tratadas em escala residencial pode contribuir como uma medida conservacionista, reduzindo o consumo de água potável, e ainda, acrescentando uma dimensão econômica ao planejamento dos recursos hídricos, aumentando a segurança alimentar e melhorando as questões de saúde publica, pois é um efluente que deixa de ser um contaminante de solos e corpos d'água. Em muitos casos, em especial quando se trata de edificações com vários andares, esta prática é mais viável economicamente do que o aproveitamento de águas pluviais.

As águas cinza possuem características semelhantes ao esgoto sanitário convencional, com a exceção de nutrientes como nitrogênio e fósforo que são escassos, pois são provenientes, em sua maioria, das fezes e da urina. Há também menores densidades de microrganismos, devido à menor contaminação fecal nos pontos de geração. A composição das águas cinza dependerá das fontes escolhidas, da proporção de mistura entre as fontes utilizadas e da forma com que a água é utilizada em cada local. Tem influência direta de características regionais e preceitos culturais dos usuários como: a localidade e ocupação da residência, a faixa etária dos usuários, o estilo de vida, a classe social, o uso de produtos de limpeza, medicamentos e cosméticos, o horário de uso da água, etc (ERIKSSON *et al.*, 2002; NSW HEALTH, 2000).

Os contaminantes químicos mais significativos nas águas cinza são derivados de produtos utilizados na lavagem de roupas e banheiros. A compreensão das fontes contaminantes é importante na identificação da heterogeneidade das características das águas cinza. Os produtos químicos mais utilizados são os surfactantes (agentes ativos de superfície), tendo em vista que eles são amplamente utilizados para higienização e limpeza (WIDIASTUTI *et al.*, 2008).

As águas cinza normalmente contêm organismos patogênicos, dentre eles, bactérias, vírus e parasitas, em concentrações menos elevadas do que em esgotos domésticos convencionais, mas elevadas o suficiente para causar riscos à saúde humana (JAMRAH *et al.*, 2007). Os microorganismos patogênicos nas águas cinza são provenientes das atividades como tomar banho e lavar as mãos. De acordo com Eriksson *et al.* (2002), durante a estocagem e transporte da água cinza, pode haver crescimento de microorganismos, inclusive de coliformes fecais. Isso pode originar também novos compostos orgânicos e inorgânicos, produzidos, em parte, pela degradação química da água cinza, podendo gerar maus odores. Isso reforça a necessidade de sistemas de desinfecção e estocagem eficientes.

Como dito anteriormente, a qualidade da água cinza coletada será bastante variável, mas, de modo geral, pode-se afirmar que apresentará turbidez, cor, sulfatos e sólidos suspensos em quantidades importantes e que poderá ser comparada a um esgoto fraco quanto à presença de matéria orgânica. Quando a principal fonte de águas cinza foi o chuveiro e a pia, os óleos e gorduras podem estar em concentração elevada o suficiente a ponto de ser tornarem o parâmetro crítico de controle do sistema de tratamento, conforme pesquisas realizadas pela Universidade Estadual do Espírito Santo (GONÇALVES & BAZZARELLA, 2005; VALENTINA, 2009). A tabela 5.20 apresenta a caracterização de águas cinza brutas segundo pesquisas em diferentes locais.

Por outro lado é importante se considerar a presença de compostos de enxofre nas águas cinza, originados, sobretudo de sabões e detergentes (tabela 5.21). As concentrações de sulfato são particularmente de interesse, por estarem envolvidas na formação do gás sulfidríco (H_2S), que gera odores desagradáveis quando observados acima de 1mg.L. Tais concentrações podem ser aumentadas em virtude das elevadas concentrações de sulfato e de matéria orgânica na água cinza, pois, em ambientes anaeróbios, o sulfato é reduzidos a sulfeto durante a oxidação de compostos orgânicos.

Alguns autores ressaltam a possibilidade de limitação do crescimento biológico em sistemas de tratamento de águas cinza, tendo em vista as baixas concentrações dos nutrientes N e P. Entretanto diversos relatos sobre o desempenho de processos biológicos de tratamento com vistas ao reúso não confirmam esta hipótese.

Tabela 5.20 > Caracterização de águas cinza brutas (concentrações médias de parâmetros físico-químicos) segundo pesquisas em diferentes locais do mundo

ORIGEM DA ÁGUA CINZA AUTORES/LOCAL	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
Águas cinza: Chuveiro, lavatório, lavação de roupas	**pH**	**Turbidez (NTU)**	**DQO (mg/L)**	**DBO_5 (mg/L)**	**SST (mg/L)**	**$N\text{-}NH_4^+$ (mg/L)**	**P total (mg/L)**
Peters, 2008 (UFSC) Florianópolis/ Brasil	7,7	167,5	382,5	–	119,5	4,2	5,6
Valentina, 2009 (Ufes) Vitória/ Brasil	7,8	73	237	106	78	1,28	2,87
Nolde, 1999 Alemanha	-	-	340,0	200,0	-	-	-
March *et al.*, 2004 Espanha	7,6	20,0	171,0	-	44,0	11,4*	-
Birks & Hills, 2007 Inglaterra	7,2	26,5	96,3	46,4	36,8	4,6*	0,9
Gilboa & Friedler, 2008 Israel	-	33,0	148,0	95,0	-	-	-
Pidou *et al.*, 2008 Inglaterra	6,6	35,0	144,0	39,0	-	0,7	0,5**
Águas cinza: Chuveiro, lavatório, lavação de roupas, cozinha	**pH**	**Turbidez (NTU)**	**DQO (mg/L)**	**DBO_5 (mg/L)**	**SST (mg/L)**	**$N\text{-}NH_4^+$ (mg/L)**	**P total (mg/L)**
Dallas *et al.*, 2004 Costa rica	-	96,0	-	167,0	-	-	-
Lesjean *et al.*, 2006 Alemanha	-	-	493,0	-	90,0	5,7	7,4
Paulo *et al.*, 2007 Campo Grande/Brasil	6,5	187,0	508,0	-	109,0	8,0	40,0**
Jamrah *et al.*, 2007 Oman	7,6	279,0	426,0	408,0	236,0	-	-
Gross *et al.*, 2008 Israel	6,3	-	839,0	466,0	158,0	0,3	-
Águas cinza: Chuveiro, lavatório	**pH**	**Turbidez (NTU)**	**DQO (mg/L)**	**DBO_5 (mg/L)**	**SST (mg/L)**	**$N\text{-}NH_4^+$ (mg/L)**	**P total (mg/L)**
Nolde, 1999 Alemanha	-	-	150,0	75,0	-	7,5*	0,4
Gual *et al.*., 2008 Espanha	6,8	39,0	73,0	-	32,0	4,0*	-

OBS.: *CONCENTRAÇÕES REFERENTES AO NITROGÊNIO TOTAL; **CONCENTRAÇÕES REFERENTES À FÓSFORO ORTOFOSFATO.

Tecnologias para tratamento de águas cinza com vistas ao reúso. A grande variabilidade de compostos presentes e de características possíveis para as águas cinza se traduz em um leque de possibilidades de sistemas de tratamento aptos a serem utilizados. A escolha do sistema ideal será balizada pela qualidade necessária da água de reúso, fato relacionado diretamente com os usos propostos. Os principais usos propostos para as águas cinza tratadas concorrem com aqueles sugeridos também para a utilização das águas de chuva coletadas em uma edificação:

- rega de jardins, gramados e áreas verdes;
- descarga de vaso sanitário;
- limpeza de pisos e pátios;
- lavagem de automóveis;

- água de reserva para combate a incêndios;
- processos industriais, etc.

Embora escassos em todo o mundo, existem hoje algumas normas e recomendações que sugerem padrões de qualidade para reúso, variando de acordo com fim desejado. Dentre os documentos nacionais que recomendam padrões de qualidade para água de reúso estão o manual confeccionado pela Agência Nacional de Águas, em parceria com a Fundação das Indústrias do Estado de São Paulo e Sindicato da Construção, do ano 2005, a norma técnica da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 13969 do ano 1997. Um resumo dos principais padrões de qualidade e dos respectivos usos recomendados por algumas normas de diversos países é apresentado na tabela 5.22.

Pidou *et al.* (2008) relatam que as pesquisas a respeito do tratamento de águas cinza datam da década de 1970. As primeiras tecnologias de tratamento avaliadas baseavam-se em processos físicos, como filtração, usualmente seguidos por desinfecção. Posteriormente, nas décadas de 1980 – 1990, foram os processos biológicos de tratamento que tiveram seu desempenho avaliado para esse fim.

Dependendo do objetivo de qualidade almejado, o tratamento das águas cinza para efeito de reúso pode ser realizado por meio de processos físicos, químicos e biológicos associados. Em qualquer caso é importante a introdução de uma etapa de separação sólido-líquida no início do fluxograma de tratamento. A presença de sólidos grosseiros (areia, cabelos, felpas de tecidos e restos de alimentos, entre outros tipos de material) nas águas cinza, embora de dimensões reduzidas devido à presença dos ralos e grelhas nas instalações hidrossanitárias, exige esta etapa física de retenção dos sólidos. Caso a água de reúso tenha por finalidade usos irrestritos (ex.: descarga sanitária), o fluxograma de tratamento deve ser encerrado com uma etapa de desinfecção.

Como regra geral admite-se que os tratamentos mais simples, com menor grau de mecanização, são melhor adaptados à pequenas edificações, normalmente unifamiliares, produzindo água de reúso com padrão de qualidade relativamente pouco exigente (ex.: alagados construídos). Para edificações de maior porte, é comum o emprego de tecnologia de tratamento compacta e com configuração com maior complexidade e mecanização.

Vários arranjos foram testados em diversos países, com resultados bastante diversos no que se refere à eficiência de tratamento (VALENTINA *et al.*, 2009, Gonçalves, 2006, LI *et al.*, 2009). A tabela 5.23 apresenta alguns destes sistemas, seus respectivos locais de implantação e sua escala.

Tabela 5.22 > Padrões de qualidade de águas de reúso em diversos países

TIPO DE REÚSO	PH	SST mg/L	SDT mg/L	TURBIDEZ UT	DBO_5 (mg/L)	DETERG- mg/L	NTK mg/L	NNH_4 mg/L	P TOTAL mg/L	OD mg/L	CLORO RESIDUAL mg/L	COILIFORMES TOTAIS	COLIFORMES TERMOTOLER.	REF.
Bacia sanitária (Alemanha)	-	-	-	-	5	-		-	-	>50%	-	<100/ml	<10/ml	1
Bacia sanitária (China)	6,0 a 9,0	-	<1500	<5	<10	1	-	<10	-		>1mg/L após 30 min e >0,2mg/L até o ponto de uso	-	<3/100ml	2
Irrigação (China)	6,0 a 9,0	-	<1000	<20	<20	1	-	<20	-	>1	>1mg/L após 30 min e >0,2mg/L até o ponto de uso	-	<3/100ml	2
Lavagem de roupas (China)	6,0 a 9,0	-	>1000	<5	<6	0,5	-	<10	-	-	>1mg/L após 30 min e >0,2mg/L até o ponto de uso	-	<3/100ml	2
Restrito a represas e lagos (China)	6,0 a 9,0	-	-	-	<6	0,5	15	<5	<0,5	>1,5	-	-	<10000/100ml	2
Não restrito a represas e lagos (China)	6,0 a 9,0	-	-	<5	<6	0,5	15	<5	<0,5	>2	-	-	<500/100ml	2
Reúso irrestrito (EUA)	6,0 a 9,0	-	-	<2	10	-	-	-	-	-	1mg/L	-	ND/100ml	3
Reúso restrito (EUA)	6,0 a 9,0	30	-		30	-	-	-	-	-	1mg/L	-	<200/100ml	3
Bacia sanitária (Japão)	5,8 a 8,6	-	-	Não desagradável	≤ 20	-	-	-	-	-	Retida	≤ 1000/ml	-	4
Irrigação de áreas verdes (Japão)	5,8 a 8,6	-	-	Não desagradável	≤ 20	-	-	-	-	-	≥ 0,4	≤ 50/ml	-	4
Áreas com finalidade estética (Japão)	5,8 a 8,6	-	-	≤ 10	≤10	-	-	-	-	-	-	≤ 1000/ml	-	4
Área de contato limitado com o público (Japão)	5,8 a 8,6	-	-	≤ 5	≤ 3	-	-	-	-	-	-	≤ 50/ml	-	4
Bacia sanitária (Brasil) **	6,0 a 9,0	≤ 5	≤ 500	≤ 2	≤ 10			≤ 20	≤ 0,1				N.D.	5
Bacia sanitária (Brasil)				≤ 10									≤ 500/100mL	6
Uso irrestrito em áreas urbanas e agrícolas **	6,0 a 9,0			≤ 2	≤ 10						≤ 1,0 mg/L	≤ 100/mL	≤ 10/mL	7

REFERÊNCIAS: (1) NOLDE, 1999 (2); ERNST *ET AL.*, 2006 (3); ASANO, 2007; (4) MAEDA *ET AL.*, 1996 (5); ANA, 2005 (6); NBR 13.969/97 ITEM 5.6.4 (7); LI *ET AL.* 2009)

** NÃO É NORMA, MAS SIM UMA PROPOSIÇÃO DE NORMA PELOS AUTORES

Tabela 5.23 > Tecnologias estudadas para o tratamento de águas cinza em diferentes locais do mundo

AUTOR/LOCAL	TECNOLOGIA	ESCALA VOLUME/VAZÃO
Surendran e Wheatley, 1998 Inglaterra	Biofiltro aerado + filtro lento	Moradia estudantil 40 pessoas
Nghiem *et al.*, 2006 Austrália	Ultrafiltração por membranas de fibra submersas	Piloto V=2,25 L
Lesjean *et al.*, 2006 Alemanha	Filtro plantado com macrófitas de fluxo vertical	10 apartamentos residenciais + 1 escritório comercial Q = 4,8 m^3.dia
Goddard, 2006 Austrália	Reator com membrana + desinfecção UV	100 apartamentos residenciais
Morse *et al.*, 2007 Estados Unidos	Filtro anaeróbio + reator com membranas de fibra - aerado	Piloto V=1,6 L
Ghisi e Ferreira, 2007 Florianópolis/Brasil	Filtro plantado com macrófitas de fluxo horizontal	Prédio mutirresidencial
Gross *et al.*, 2007 Israel	Filtro biológico vertical com recheio de brita e material plástico – com recirculação de efluente	Piloto V=35 L
Lamine *et al.*, 2007 Tunísia	Reator sequencial em batelada	Piloto V=11L
Paulo *et al.*, 2007 Brasil	Filtro plantado com macrófitas de fluxo horizontal	Residência 2 pessoas
Merz *et al.*, 2007 Marrocos	Reator biológico com membranas	Piloto
Gilboa e Friedler, 2008 Israel	Biodisco + decantação	14 apartamentos residenciais
Gual *et al.*, 2008 Espanha	Pré-cloração + filtro de areia + pós-cloração	Hotel Q = 26,7 m^3.dia
Gross *et al.*, 2007 Israel	Filtro plantado com macrófitas de fluxo vertical - com recirculação de efluente	Piloto V = 1000 L
Pidou *et al.*, 2008 Inglaterra	Coagulação química (cloreto férrico e sulfato de alumínio)	Piloto
Peter, 2008 (UFSC) SC/Brasil	Filtro anaeróbio + filtro de areia	Residência 3 pessoas
Valentina, 2008 (Ufes) ES/Brasil	Reator anaeróbio compartimentado + biofiltro aerado submerso + cloração	Prédio mutirresidencial

Os tratamentos físicos, a exceção das membranas com maior capacidade de filtração, geralmente apresentam resultados medíocres na produção de água de reúso de qualidade (tabela 5.24). A sua atuação se restringe à separação de partículas sólidas ou coloidais presentes na água cinza, não atingindo os compostos dissolvidos presentes em quantidades significativas. Não obstante a associação em série de processos físicos tende a produzir melhores resultados de tratamento. Os processos físicos mais utilizados até hoje compreendem a filtração direta em leitos arenosos, a filtração no solo e o emprego de membranas filtrantes.

O uso de membranas filtrantes de ultrafiltração não produziu bons resultados em termos de qualidade da água de reúso, indicando a necessidade de implementação de mais uma etapa de tratamento a jusante (Sostar-Turk *et al.*, 2005). Entretanto resultados interessantes foram obtidos com a utilização de membranas de nanofiltração e de osmose reversa, que se mostraram capazes de remover quase que a totalidade da matéria orgânica em águas cinza (Ramon *et al.*, 2004; Sostar-Turk *et al.*, 2005). Em que pese tais desempenhos, tendo em vista que o consumo de energia tem impacto direto na viabilidade econômica de implantação de um sistema de reúso em uma edificação, os processos de tratamento envolvendo membranas filtrantes carecem ainda de desenvolvimento tecnológico para se tornarem competitivos.

Tabela 5.24 > Desempenho de processos físicos tratando águas cinza

PROCESSO	TURBIDEZ (UT)		SST (mg/L)		DQO (MG O_2/L)		COLIFORMES TERMOT. (NMP.100 mL)		REFERÊNCIA
	E	S	E	S	E	S	E	S	
Grade + sediment. + desinfecção	44	19	44	19	171	78	11,4	7,1	March *et al.* (2004)
Filtro de areia + desinfecção	21	7	-	-	157	47	$2x10^5$	13	Brewer *et al.* (2000)
Membrana UF	35	18			230	130	-	-	Sostar-Turk *et al.* (2005)
Membrana NF	30	1	20	0	226	15	-	-	Sostar-Turk *et al.* (2005)
Membrana OR	-	-	18	0	130	3	-	-	Sostar-Turk *et al.* (2005)
Filtro de solo			105	23	271	41	-	-	Itayama *et al.* (2004)
FC + CA + FA + D*	13	6	9	4	51	35	<200	0	Prathapar *et al.* (2006)

* FC = FILTRO DE CARTUCHO), CA = CARVÃO ATIVADO), FA = FILTRO DE AREIA), D = DESINFECÇÃO)

A utilização de processos químicos é relativamente restrita no tratamento de águas cinza. Experiências envolvendo a utilização de coagulação – floculação com sais metálicos, eletrocoagulação, oxidação catalítica, troca iônica e adsorção em carvão ativado encontram-se relatadas na literatura especializada (tabela 5.25).

A utilização de sais metálicos reportada por Pitou *et al.* (2008) mostrou que, embora a água tratada tenha apresentado valores reduzidos de DBO5 e de turbidez, as concentrações de DQO permaneceram elevadas. Este tipo de tratamento atua nos compartimentos

particulados e coloidais da poluição orgânica, mas não eliminam compostos dissolvidos que estão presentes na água cinza bruta em quantidades significativas. Um tratamento complementar, tal como o reportado por Sostar-Turk *et al.* (2005), é necessário para a produção de água de reúso com qualidade para uso irrestrito. A experiência descrita com eletrocoagulação foi realizada com águas cinza muito diluídas, o que não autoriza uma generalização dos resultados obtidos. Entretanto deve se esperar em condições normais desempenhos semelhantes aos reportados no emprego da coagulação com sais metálicos. Resultados medíocres foram obtidos com o emprego de resinas magnéticas para troca iônica.

Os aspectos favoráveis à utilização de processos químicos referem-se à compacidade dos processos de tratamento e a flexibilidade operacional que caracteriza a maioria deles. Como pontos negativos devem ser ressaltados a necessidade de aquisição de produtos químicos, a complexidade operacional e de manutenção para se obter condições adequadas de funcionamento do sistema e, no caso da coagulação, a produção excessiva de lodo. Os tratamentos envolvendo resinas de troca iônica e mesmo a eletrocoagulação apresentam custos de implantação elevados com relação a outros tipos.

Tabela 5.25 > Desempenho de processos químicos tratando águas cinza

PROCESSO	TURBIDEZ (UT)		SST (mg.L)		DQO (mg O_2.L)		COLIFORMES TOTAIS (NMP.100 mL)		REFERÊNCIA
	E	S	E	S	E	S	E	S	
Eletrocoagulação + desinfecção	43	4	29	9	52	22	$2x10^8$	$2x10^6$	Lin *et al.* (2005)
Coagulação + filtro de areia + CA	-	-	35	< 5	280	20	-	-	Sostar-Turk *et al.* (2005)
Coagulação c/ sal de alumínio	46,6	4,3	-	-	791	287	-	< 1	Pidou *et al.* (2008)
Troca iônica	46,6	8,1	-	-	791	272	-	< 59	Pidou *et al.* (2008)

Alternativamente aos processos físicos ou químicos, os processos biológicos visam principalmente a degradação de compostos carbonáceos, convertendo os carboidratos, óleos, graxas e proteínas a compostos mais simples. Conforme descrito por Campos (1999), pode ser realizado anaeróbia ou aerobiamente, como também pode prever uma associação em série de ambas estas vias metabólicas. Nos sistemas anaeróbios cerca de 70% a 90% do material orgânico biodegradável são convertidos em biogás. Cerca de 5% a 15% da matéria orgânica é transformada biomassa microbiana, constituindo-se no lodo excedente do sistema. Nos sistemas aeróbios, a degradação

biológica é responsável pela conversão de 40% a 50% da matéria orgânica da água residuária em CO_2, enquanto que o restante é convertido em biomassa (lodo).

Os processos biológicos, que variam dos avançados biorreatores de membrana aos sistemas simplificados com alagados construídos, ou *wetlands*, são considerados os mais apropriados para o tratamento de águas cinza devido à sua eficiência na remoção da matéria orgânica (JEFFERSON *et al.*, 1999; PIDOU *et al.*2008) (tabela 5.26). As exigências estéticas e organolépticas (odor) das águas para reúso predial fazem com que, em caso de opção pelo tratamento biológico, a etapa aeróbia seja obrigatória, por ser a única capaz de remover a turbidez de maneira consistente. Nos casos prevendo uma etapa de tratamento físico ou químico implementada preliminarmente, o emprego de um processo biológico aeróbio pode vir a ser uma solução eficiente de polimento para assegurar o desempenho do conjunto.

Tabela 5.26 > Desempenho de processos químicos tratando águas cinza

PROCESSO	TURBIDEZ (UT)		SST (mg/L)		DQO (mg O_2.L)		COLIFORMES TOTAIS (NMP.100 mL)		REFERÊNCIA
	E	S	E	S	E	S	E	S	
RBC + FA + cloração	33	0,6	43	7,9	158	40	$5,6x10^5$	0,1	Nolde (1999)
Lodo ativado c/ membrana (MBR)	-	0,32	-	-	-	9,6	-	ND	Jefferson *et al.* (1999)
Lodo ativado c/ membrana (MBR)	29	0,5	-	-	109	15	$1,4x10^5$	68	Merz *et al.*, 2007
Filtro aeróbio + leito de brita	168	13,8	120	20	383	17	$4,0x10^4$	$1,4x10^4$	Peters (2006)
RAC + FBAS + FA + cloração							$5,4x10^2$	< 1	Gonçalves & Bazzarella (2005)
RAC + FBAS + FT + cloração	73	8	78	14	297	22	$2,4x10^2$	< 1	Vaz (2009) & Valentina (2009)
RAC	73	47	78	33	297	97	$3,0x10^2$	$4,0x10^4$	Vaz (2009) & Valentina (2009)
UASB	-	-	-	-	681	470	-	-	Elmitwalli *et al.* (2007)

RBC = BIODISCO, FA = FILTRO DE AREIA, RAC = REATOR ANAERÓBIO COMPARTIMENTADO, FT = FILTRO EM TELA DE *NYLON*

Pelos resultados apresentados na tabela 5.26, é evidente que não se deve utilizar qualquer tipo de processo anaeróbio como etapa final de tratamento de água cinza com vistas ao reúso. Entretanto, considerando as inúmeras vantagens oferecidas pela via

anaeróbia na degradação de matéria orgânica, sistemas compostos pela associação de processos anaeróbio-aeróbio em série, tais como a associação em série de um reator anaeróbio compartimentado com um filtro biológico aerado submerso, são particularmente interessantes para países com condições climáticas favoráveis, como no caso do Brasil (GONÇALVES, 2006).

Os alagados construídos, ou *wetlands*, têm provado ser um tratamento efetivo e de baixo custo, que utiliza a interação de plantas e microrganismos na remoção de poluentes (tabela 5.27). Eles têm sido usados há muito tempo para o tratamento (ou pós-tratamento) de esgoto doméstico, apresentando alta eficiência na remoção de matéria orgânica, nutrientes, sólidos suspensos e até mesmo patógenos. No entanto pouca literatura científica está disponível quando se trata da eficiência de alagados construídos tratando água cinza. Muitas dúvidas ainda existem a respeito desses sistemas aplicados a residências, como por exemplo: necessidade de um tanque de equalização, capacidade do sistema de acomodar altas cargas de sabão (por exemplo, a descarga de máquina de lavar), tempo de retenção hidráulica, influência de precipitação pluviométrica e proliferação de mosquitos, entre outros.

Na Costa Rica, foi desenvolvido sistema de tratamento em alagados construídos de fluxo subsuperficial ou *reedbed*, de baixo custo, para o tratamento de águas cinza. A água cinza foi coletada de quatro residências e o sistema de tratamento foi projetado para tratar 2500 L.dia de água cinza (Dallas *et al.*, 2004). Já Gross *et al.* (2007) desenvolveram, em Israel, um sistema baseado na combinação de alagados construídos de fluxo vertical e filtração, na qual denominaram "*wetlands* construídas de fluxo vertical recirculada" (RVFCW), para reúso em irrigação de pequenas comunidades. Paulo *et al.* (2007) estudaram a adaptação, a operação e o desempenho de um alagado construído com *Heliconia psittacorum L.F, Bromelia sp*. e *Cyperus isocladus (papyrus)*, em Campo Grande-MS, para tratamento e reúso de água cinza. O tratamento foi projetado para uma residência de dois habitantes e foi alimentado com água cinza originada somente da cozinha (pia e máquina de lavar louças) e área de lavanderia (máquina de lavar roupas e tanque).

Tabela 5.27 > Características da água de reúso obtida em alagados construídos

CARACTERÍSTICAS DO TRATAMENTO	CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DE REÚSO	REFERÊNCIA
Leito cultivado com plantas *Heliconia psittacorum L.F, Bromélia sp* e *Cyperus isocladus (papyrus)*	Turbidez (NTU) - 34 SST (mg/L) - 17 DQO (mg/L) - 273	Paulo *et al.*, 2007
Leito cultivado de fluxo vertical recirculado (RVFCW)	SST (mg/L) - 3 DQO (mg/L) - 157	Gross *et al.*, 2007
Leito cultivado de fluxo subsuperficial com a planta *Coix lacryma-jobi*	Turbidez (NTU) - 10 DBO5 (mg/L) - 10	Dallas *et al.*, 2004

FONTE: VALENTINA (2009)

Finalmente, como processos de desinfecção podem ser utilizados a cloração, ozonização, aplicação de radiação ultravioleta, etc. Levando-se em consideração este risco de contaminação, vários sistemas de desinfecção podem ser aplicados às águas cinza tratadas, sendo os mais comumente utilizadas a desinfecção por luz ultravioleta e a cloração. As duas formas de desinfecção são eficientes, e diferem-se entre si fundamentalmente em função dos custos de aplicação e formação de subprodutos orgânicos que podem ser prejudiciais à saúde humana. Com relação aos custos a desinfecção ultravioleta é mais onerosa quando comparada à cloração, mas, no entanto, não existe a formação de subprodutos, o que ocorre na cloração, onde estes são formados pelo contato do cloro com a matéria orgânica que ainda é presente, mesmo nas águas cinza tratadas.

Desempenho de um sistema de reúso de águas cinza em uma edificação residencial de alto padrão em Vitória–ES – Projeto da Ufes. Este projeto de pesquisa teve como objetivo pesquisar a produção e as características fisico-quimicas e biológicas da água cinza gerada em uma edificação residencial de alto padrão, bem como avaliar o desempenho de uma estação compacta de tratamento de água cinza (ETAC) para reúso não potável na própria edificação (figura 5.17). Fazem parte como fonte geradora de água cinza na edificação os chuveiros, pias, máquinas de lavar e tanques, que, após o tratamento, são reutilizadas nas descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e rega de jardins. A qualidade do consumo e da produção foi detalhada por um sistema de hidrometração instalado na edificação, permitindo a setorização detalhada do consumo de água potável, de produção de água cinza e de consumo de água de reúso, mediante leituras diárias e perfis 24 horas.

A partir dos dados de monitoramento diário dos hidrômetros instalados no edifício foi possível concluir que a produção de água cinza superou a demanda de água de reúso na maior parte dos dias. A produção de água cinza foi em média 13660 L.dia^{-1}, enquanto o consumo de água de reúso foi de 4327 L.dia^{-1}. Apenas 32% da água cinza produzida foi reutilizada, enquanto que o restante foi direcionada para a rede de esgoto. O maior consumo de água de reúso acontece nas descargas das bacias sanitárias dos apartamentos (83%), seguido da área comum (12%) e por fim a área de lazer (5%).

Os meses com a maior produção média diária de água cinza foram junho, agosto e novembro, enquanto que o mês de maior consumo diário foi novembro. A média *per capita* de produção de água cinza foi de 195 L.hab^{-1}.dia^{-1}, enquanto a média *per capita* de consumo de água de reúso foi de 52 L.hab^{-1}.dia^{-1} (figura 5.18). Os meses de maior produção *per capita* foram junho, agosto e novembro, enquanto os meses de maior consumo *per capita* de água de reúso foram outubro e novembro. Observou-se ainda que nos finais de semana, a produção de água cinza e o consumo de água de reúso são menores em relação aos dias da semana.

No perfil 24h pode concluir que a produção de água cinza é bastante elevada na parte da manhã, com picos nos horários de 12h – 14h e 14h – 16h. A partir das 16h, a produção de água cinza diminui, mas apresenta uma elevação nos horários de 20h – 22h e 0h 2h, caracterizando-se como as faixas horárias de maiores produções no período noturno. A faixa horária de maior produção de água cinza é 12h – 14h, onde também tem-se o maior consumo de água de reúso. A faixa de horário de maior produção per capita de água cinza é de 14h – 16h, enquanto que o maior consumo *per capita* está entre 12h – 14h. Durante o período avaliado (abril a novembro/2008), a quantidade de água potável economizada devido ao consumo de água de reúso foi de 990.000 litros.

FONTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO – UFES

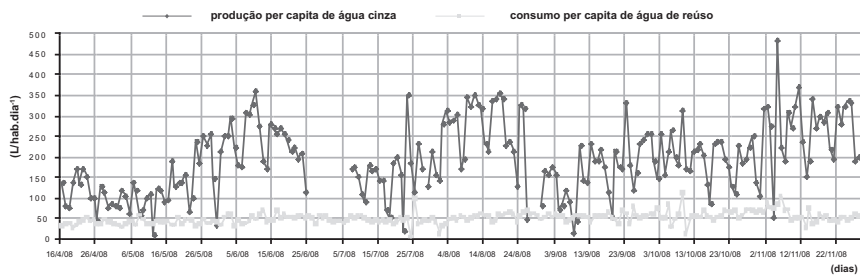
Figura 5.17	Imagens do Ed. Royal Blue, situado no bairro Praia do Canto em Vitória-ES

FONTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO – UFES

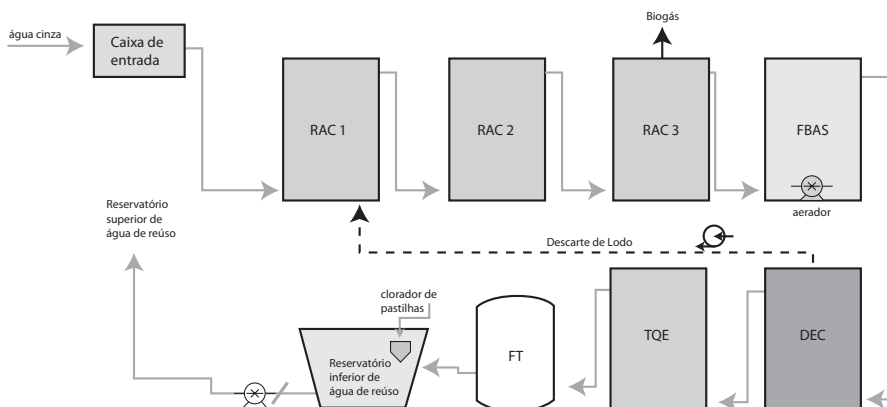
Figura 5.18	Série histórica da produção *per capita* de água cinza e consumo *per capita* de água de reúso

FONTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO – UFES

Figura 5.19 Fluxograma da ETAC

Com relação à avaliação do desempenho da ETAC, cujo fluxograma e cujos elementos constituintes são apresentado pelas figuras 5.19 a 5.22, foi possível constatar que o tratamento anaeróbio foi de fundamental importância na remoção das cargas iniciais presentes na água cinza. Destaca-se a grande eficiência na remoção de cor, SSD, DBO5 e DQO, removendo grande parte dos sólidos e matéria orgânica sem praticamente nenhum aporte energético.

Os compartimentos 2 e 3 do reator anaeróbio RAC não apresentaram eficiência na remoção de matéria orgânica, devido ao TDH no RAC 1, em torno de 9h. O tratamento aeróbio atuou complementando a remoção de matéria orgânica remanescente da etapa anaeróbia. A concentração de sólidos aumentou significativamente no FBAS, devido, principalmente, ao desprendimento da biomassa no meio suporte, fato observado na coleta da amostra neste ponto. O tratamento aeróbio fez com que as concentrações de sulfeto fossem reduzidas, fazendo com que o efluente proveniente do FBAS fosse isento de odor. O DEC foi de extrema importância na amortização de sólidos provenientes do FBAS. As eficiências de remoção de SSD e SST foram altas, fazendo desta etapa uma etapa fundamental após o FBAS. O FT atuou complementando a remoção de sólidos provenientes do DEC. A remoção de SSD e cor foi alta neta etapa.

A etapa de cloração removeu a cor e turbidez remanescente do tratamento. O cloro atuou como agente oxidante na remoção da matéria orgânica remanescente proveniente do filtro terciário. Também foi de extrema eficiência na remoção de coliformes totais e *E. coli*, sendo que a concentração de *E. coli* na água de reúso foi inferior à 1 NMP.100 mL em todas as amostras.

Com relação à frequência de atendimento aos padrões de reúso em descarga de bacia sanitária, a maioria dos parâmetros atendem aos limites menos restritivos de reúso para a água de reúso. O desempenho da ETAC ao longo de 24h mostrou que a água cinza bruta mostra-se bastante variável neste intervalo de tempo. Conclui-se também que a ETAC mostra-se eficiente no amortecimento das cargas, fazendo com que a água de reúso tenha um comportamento estável, para todos os parâmetros, ao longo das 24h.

Figura 5.20	Vista dos RAC que compõe a ETAC	Figura 5.21	Filtro terciário em tela de *nylon*	Figura 5.22	Hidrômetro na saída da ETAC

Finalmente, não foi detectado a presença de *Salmonella spp.*, ovos de helmintos, *Cryptosporidium sp.* e *Giardia spp.* no efluente de nenhuma etapa do tratamento. A análise quantitativa de risco foi realizada de acordo com Hass (1999), utilizando o modelo *beta-poison* e variáveis descritas por Westrell (2004). A probabilidade de infecção anual do selo hídrico do vaso sanitário abastecido com água de reúso comporta-se de acordo com a água de reúso no reservatório inferior de cloração apresentando risco anual aceitável de um caso de infecção em 1000 para diarréias leves (10-3).

5.3.3 Desenvolvimento e adequação tecnológica: medição individualizada e projeto de banheiros públicos

As experiências levadas a efeito sobre a medição do consumo em cada apartamento de um edifício não deixam dúvidas de que se trata de medida que efetivamente reduz o consumo médio por unidade habitacional. Observem-se os resultados da implantação de medição individualizada em prédios de apartamento. Foi implantada em prédios populares em Salvador-BA, principalmente para eliminar conflitos entre os condôminos em decorrência do pagamento das taxas condominiais, nas quais a conta de água e esgoto representa cerca de 90%. Os resultados mostram que houve uma redução de até 44% nos gastos de água (figura 5.23).

É curioso o fato de que, em um desses prédios, a simples decisão de implantar o sistema de medição derrubou o consumo antes mesmo do início das obras: a perspectiva

de se ter que se responsabilizar pelos seus próprios desperdícios levou os moradores a uma corrida para eliminação de vazamentos em seus apartamentos. Num plano individual, a medição também pode ser um importante aliado na redução do gasto de água e dos custos. A realização de leituras mais frequentes possibilita a detecção de anormalidades (vazamentos, por exemplo) permitindo uma tomada rápida de providência, evitando que o problema se avolume.

Projeto de banheiros públicos e instalações aeroportuárias –Projeto da UFBA. O *design* dos banheiros e os aparelhos hidrossanitários nele utilizados influenciam de forma significativa no consumo de água de prédios públicos. Para investigar esta hipótese e identificar o nível de influência que estes fatores exercem no consumo de água predial, a UFBA realizou experimentos na Escola Politécnica e em instalações aeroportuárias. Os resultados até o momento obtidos, mesmo que ainda não completamente conclusivos, permitem alguns desenvolvimentos que podem contribuir com a racionalização do consumo de água nestas edificações assim como com o aproveitamento da urina humana como fonte de nitrogênio orgânico para a produção vegetal.

Entre as conclusões obtidas destaca-se a confirmação que os banheiros de prédios públicos são utilizados, principalmente, para o atendimento à necessidade fisiológica de urinar. Para este atendimento, o uso de mictórios, relativamente ao de vasos sanitários, permite tanto uma redução muito grande do consumo de água como a obtenção de um efluente concentrado, mais facilmente aproveitável como fonte de nutrientes. Na Escola Politécnica da UFBA, para cada cem visitas aos banheiros femininos, 69 se destinam a urinar, 21 a defecar e 10 ao uso exclusivo da pia (figura 5.24). No caso dos banheiros masculinos a preferência por urinar é maior ainda (figura 5.25).

Estes resultados foram obtidos por enquete utilizando painéis com computadores localizados na saída dos banheiros. Para os banheiros femininos foram computadas, entre agosto e outubro de 2008, 1631 respostas, e, para os masculinos, 3191. Já na unidade aeroportuária investigada, em junho de 2008, foram entrevistados na sala de embarque, 182 passageiros masculinos e 142 do sexo feminino. Os entrevistados, ao todo, tinham utilizado 786 vezes aparelhos sanitários. Destes, apenas 2% foram vasos sanitários para defecar. Os aparelhos para urinar (vasos e mictórios) foram procurados 88% das vezes.

Chama atenção que nos banheiros masculinos pesquisados, o número de vasos sanitários é, em número, maior que o de mictórios. Pode se disser que o *design* dos banheiros masculinos incentiva o uso dos vasos sanitários, seja pela disponibilidade de vasos em relação à demanda pelo uso para defecar, seja pela privacidade oferecida pelos mictórios. Esta foi uma das principais razões que os respondentes apontaram para procurarem o vaso sanitário para urinar.

EPUFBA, 61% dos usos dos vasos sanitários são destinados à urinar. No aeroporto este número sobe para 85%.

Considerando que uma descarga de vaso sanitário pode representar um consumo 40 vezes maior de água do que a de um mictório, podemos apreciar a considerável redução de consumo que pode ser obtida com um melhor *design* dos sanitários masculinos. No caso dos banheiros femininos o problema ainda é maior pelo fato de não se utilizarem ainda no país, mictórios femininos. Este é um problema que requer uma discussão mais ampla já que na situação atual, o público feminino é obrigado a usar um aparelho inadequado para urinar, o que o obriga a um esforço adicional ao evitar o contato com o aparelho. A instalação de descargas do tipo duplo (3 L para líquidos e 6 L para sólidos) de certa forma aponta para alternativas mais racionais do uso da água que podem ser sensivelmente melhorados com uma maior utilização de mictórios masculinos e femininos ou com vasos sanitários segregadores. Esses equipamentos permitem ainda, o aproveitamento da urina, ao separá-la do contato com as fezes. O aproveitamento da urina agrega grandes economias energéticas, conforme discutido no Capítulo 6. A sua captação em áreas urbanas é facilitada pelo fato de hoje se praticar uma segregação "natural" entre as funções defecar e urinar em relação aos pontos onde estas se dão na cidade. Os dados que começam a ser levantados, apontam para uma preferência pela função defecar nas residências dos usuários e uma relativa maior possibilidade de produção de urina humana nos locais de trabalho e lazer.

Referências bibliográficas

ABNT. *Instalação Predial de Água Fria.* NBR 5626. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ABNT. *Água de Chuva*: Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis – Requisitos. NBR 15527. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ALVES, W.C.; ROCHA, A.L. & GONÇALVES, R.F. Aparelhos Sanitários Economizadores. In: Ricardo Franci Gonçalves (Org.) *Uso Racional da Água em Edificações.* Rio de Janeiro: ABES, Prosab-Finep Edital 4, p. 267-321, 2006 .

ALVES, W.C.; ZANELLA, L. & SANTOS, M.F.L. Sistema de aproveitamento de águas pluviais para usos não potáveis. *Téchne*, São Paulo: Editora Pini, p. 99-104, edição 133, ano 16, 2008.

ANA; FIESP; & SINDUSCON-SP. *Conservação e Reúso da Água em Edificações.* São Paulo: 2005.

ANDRÉ, P.T.A. & PELIN, E.R. *Elementos de Análise Econômica Relativas ao Consumo Predial.* Brasília. Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana, (Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA – documento DTA B1), 1998.

ANNECHINI, K.P.V. *Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins Não Potáveis na Região Metropolitana de Vitória-ES).* Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental – CT – Universidade Federal do Espírito Santo. 2005.

ANTAC In: XII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC 2008, Fortaleza. Anais... Porto Alegre: 2008.

ASANO, T. Milestones in the reuse of municipal wastewater. *Proceedings of water supply and sanitation for all*. Berching, Germany: p. 295-306, 2007.

BARRETO, D. *Economia de Água em Edifícios:* uma questão do programa de necessidades. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP, São Paulo, 1998.

BAZZARELLA, B.; B. Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

BEATRICE, N.U & ONAKUFE, A. Rainwater quality from different roof catchments in the Port Harcourt district, Rivers State, Nigeria. *Journal of Water Supply:* v. 49, p. 281-288, 2000.

BIRKS, R. & HILLS, S. Characterisation of Indicator Organisms and Pathogens in Domestic Greywater for Recycling. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 129, n. 1-3 / jun 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 518 de 25/3/2004, que estabelece os procedimentos e as responsabilidades relativas ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências).

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. *Inspeção sanitária em abastecimento de água.* Brasília: Ministério da Saúde, Série A: Normas e Manuais Técnicos, 2006. 84 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.* (SNIS), 2007. Brasília: Ministério das Cidades, 2007.

BRITO, A.C.; VITTORINO, F. & AKUTSU, M. Avaliação Ambiental de Edifícios. *Téchne*, São Paulo: Editora Pini, ed. 133, ano 16, p. 99-104, 2008.

CAMBIAGHI, H. & AMÁ, R. *Manual de Escopo de Projetos e Serviços de Arquitetura e Urbanismo.* São Paulo: AsBEA *el al.*, 2006.

CÁRDIA, N.G. O *Comportamento de Conservação de Água*: Subsídios Teóricos para Campanhas Educativas de Redução do Consumo. In: ANAIS DO SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECONOMIA DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO, São Paulo, 28 a 30 de outubro de 1986. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1987, p. 177-195.

CILENTO, F.C. Soluções para o aproveitamento de água pluvial em edificações existentes por meio do desenvolvimento de reservatórios de descarte e armazenamento. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental do IPT) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2008.

COOMBES, P. J.; ARGUE, J. R. & KUCZERA, G. Figtree Place: A case study in Water Sensitive Urban Development. *Urban Water Journal*, 1 (4), 2000.

CRABTREE K.D *et al.*. The detection of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in cistern water in the U.S. Virgin Islands. *Water Research*, v. 30, p. 208-216, 1996.

DALLAS S.; SCHEFFEC B.; HO G. *Reedbed*s for greywater treatment: case study in Santa Elena-Monteverd. Costa Rica, Central America: *Ecologial Engineering*, n. 23. p. 55-61, 2004.

ERIKSSON. *et al.*. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, v. 4, n.1, p. 58 104, 2002.

ERNST M.–*et al.* An integrated wastewater treatment and reuse concept for the Olympic Park 2008, Beijing. *Desalination 2006*, 202(1-3), p. 293–301.

FRANCO, R.M.B. Protozoários de veiculação hídrica: relevância em saúde pública. Revista Panamericana de Infectologia, 9 (4), 36-43, 2007.

GILBOA, Y. E FRIEDLER, E. UV disinfection of RBC-treated light greywater effluent: Kinetics, survival and regrowth of selected microorganisms. *Water Research*, v. 42, Issues 4-5, Feb 2008, p. 1043–1050.

GONÇALVES, R.F. (Org.). Uso Racional da Água em Edificações. *Prosab-Finep Edital 4.* Rio de Janeiro: Abes, 2006, 332 p.

GONÇALVES, R.F. & BAZZARELLA, B.B. Reúso de águas cinza e gerenciamento alternativo das águas amarelas (urina) em áreas urbanas, *Anais eletrônicos do Workshop sobre Reúso.* Campina Grande-PB, 2005.

GONÇALVES, R.F.; ALVES, W.C. & ZANELLA, L. Conservação de Água No Meio Urbano. In: Ricardo Franci Gonçalves (Org.) Uso Racional da Água em Edificações. *Prosab-Finep Edital 4.* Rio de Janeiro: Abes, p. 29-71, 2006 .

GROSS A.–*et al.* Recycled vertical flow constructed wetland (RVFCW): a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities. *Chemosphere 2007*; 66(5), p. 916–23.

GUAL, M.; MOIÀ, A.; MARCH, J. G. Monitoring of an indoor pilot plant for osmosis rejection and greywater reuse to flush toilets in a hotel. *Desalination*. n. 219, p. 81-88, 2008.

JAMRAH, A. *et al.* Evaluating greywater reuse potential for sustainable water resources management in Oman, *Environ Monit Assess*, jun 2007.

LESJEAN B.; GNIRSS, R. Grey water treatment with a membrane bioreactor operated at low SRT and low HRT. Desalination 2006; 199(1-3), p. 432–434.

LI, F.; WICHMANN, K; ET OTTERPOHL, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Sci Total Environ*, doi:10.1016/j.scitotenv.2009.02.004)

MAEDA M.; NAKADA, K.; KAWAMOTO K; IKEDA, M. Area-wide use of reclaimed water in Tokyo, Japan. *Water Sci Technol 1996,* 33(10-11), p. 51–7.

MARCH JG.; GUAL M.; OROZCO, F. Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel. *Desalination 2004*,164(3), p. 241–247, (Mallorca Island, Spain.

MAY, S. *Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações*. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

MAYER, P.W. & DeOREO, W.B. *Residential end uses of water.* Denver, AWWA: AWWA Research Foundation, 1999.

MELO, L.R.C. & ANDRADE NETO, C.O. (a) *Variação da qualidade da água de chuva em três pontos distintos da cidade de Natal-RN.* In: ANAIS DO 24º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, BELO HORIZONTE, *2007*. Rio de Janeiro: Abes, 2007.

MELO, L.R.C. & ANDRADE NETO, C.O. (b) *Um Amostrador Automático Simples para Captação de Água de Chuva em Seus Diferentes Estágios*. In: ANAIS DO 24º CONGRESSO BRASILEIRO DE EN-

GENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, BELO HORIZONTE, *2007*. Rio de Janeiro: Abes, 2007.

MONTENEGRO, M.H.F. & SILVA, R.T. Economia de Água: quadro de necessidades e linhas de ação. In: ANAIS DO SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECONOMIA DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO, São Paulo, 28 a 30 de outubro de 1986. São Paulo,Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), 1987, p. 7–26.

NOLDE, E. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings — over ten years experience in Berlin. *Urban Water 1999*, 1(1999), p. 275–84.

NSW HEALTH. *Greywater reuse in Sewered single domestic premises*, Sidney, 2002. Disponível em: <http://www.health.nsw.gov.au/publichealth/ehb/general /wastewater/greywater_policy.pdf>. Acesso em: jan 2008.

PAULO, P. L.*et al.* Tratamento de água cinza em uma unidade residencial de banhados construídos. In: 24º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2007.

PETERS, M. R. Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

Phillipi, L. S. *et al.* Aproveitamento da Água de Chuva. In: Ricardo Franci Gonçalves (Org.) Uso Racional da Água em Edificações. *Prosab-Finep Edital 4*. Rio de Janeiro, Abes, p. 73-152, 2006.

PIDOU, M. *et al.* Chemical solutions for greywater recycling. *Chemosphere 2008*, 71(1), p. 147–55.

REBELLO, G.A. *Conservação de água em edificações:* Estudo das características da qualidade da água pluvial de aproveitamento em instalações prediais. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2004.

SILVA, R.T.; CONEJO, J.G.L. & GONÇALVES, O.M. *Apresentação do Programa.* Brasília, Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA) .Documento DTA A1, 1999.

SOUZA, R. & MITIDIERI FILHO, V. Avaliação de Desempenho de Sistemas Construtivos Destinados à Habitação Popular: Conceituação e Metodologia. In: *Tecnologia de Edificações*. São Paulo: Editora Pini e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), p. 139-142, 1988.

TORDO, O.C. *Caracterização e avaliação do uso de águas de chuva para fins não potáveis.* 120 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Regional de Blumenau, SC, 2004.

VALENTINA, R.S.D. *Gerenciamento da qualidade e da quantidade de água cinza em uma edificação residencial de alto padrão com vistas ao seu reúso não potável.* Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.

VAZ, L.O. *Avaliação do risco microbiológico decorrente do reúso de águas cinza em uma edificação residencial de alto padrão*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.

WIDIASTUTI, N.*et al.* The potential application of natural zeolite for greywater treatment. *Desalination*, n. 218, p. 271-280, 2008.

WIROJANAGUD, W; MUNGKARNDEE, P & HOVICITR, P. Valuation of rainwater quality: Heavy metals and pathogens. *Proceedings of the Fourth International Conference on Rain Water Cistern*

Systems. Manila, Philippines, 1985.

SURENDRAN, S; WHEATLEY, A.D. Grey-water reclamation for non-potable re-use. *Water and environmental management*; 12(6), p. 406–413, dec. 1998.

NGHIEM, L. D.; OSCHMANN N.; SCHÄFER, A I. Fouling in greywater recycling by direct ultrafiltration. *Desalination*, n. 18, p. 283-290, 2006.

GODDARD, M. Urban greywater reuse at the D'LUX Development. *Desalination*, n. 188, p. 135-140, 2006.

MORSE, A. .Nasa solutions for wastewater reuse in space may be a model for future graywater. *Water Environment Research*, v. 79, issue 13, december 2007, p. 2557-2565.

GHISI, E.; FERREIRA, D. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. *Building and Environment*, v. 42, issue 7, 2007, P. 2512–2522.

LAMINE M.; BOUSSELMI L.; GHRABI A. Biological treatment of grey water using sequencing batch reactor. *Desalination*, v. 215, p. 127–132, 2007.

MERZ, C.*et al*. Membrane bioreactor technology for the treatment of greywater from a sports and leisure club. Desalination. n. 215, p. 37-43, 2007.

March JG, Gual M, Orozco F. Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel. *Desalination 200*, 164(3), p. 241–2477, Mallorca Island, Spain.

BREWER D.; BROWN R; STAFIELD G. *Rainwater and greywater in buildings*: project report and case studies. Bracknell, Grã-Bretanha: BSRIA Ltd., 2000.

SOSTAR-TURK S.; PETRINIC I.; SIMONIC M. Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. *Resour Conserv. Recycl. 2005*, 44(2), p.185–96.

ITAYAMA, T. *et al.* On site experiments of the slanted soil treatment systems for domestic gray water. *Water Sci Technol*, 2004, 53(9), p. 193–201.

PRATHAPAR S.A., *et al. Design*, construction and evaluation of an ablution water treatment unit in Oman: a case study. *International Journal Environment Stud.* 2006; 63

ELMITWALLI, T.A., OTTERPOHL, R. Anaerobic biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. *Water Research*. 2007; 41(6), p. 1379–1987.

HAAS, C. N., ROSE, J. B. & GERBA, C. P. *Quantitative Microbial Risk Assessment*. New York: John Wiley and Sons Inc., 1999

WESTRELL, T. Microbial risk assessment and its implications for risk management in urban water systems. cap 3, p. 35. Tese (Phd) - Faculdade de Artes e Ciências na Universidade de Linköping, 2004.

Notas

1 Sistemáticas de avaliação e/ou certificação de sustentabilidade ambiental do edifício: *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), desenvolvido pelo *Building Research Establishment* (BRE) do Reino Unido; *Leadership in Energy and Environmental Design Green Building Rating System* (LEED), aplicado pelo *United States Green Building Council* (USGBC) dos EUA;

Association por la Haute Qualité Environmentale (HQE) é uma base de avaliação francesa; *Green Building Assesment Tool* (GBTOOL) ferramental internacional de avaliação envolvendo países da Europa; *Comprehensive Assesment System for Building Environmental Efficiency* (CASBEE), sistema japonês de avaliação (BRITO *et al.*, 2008).

2 O Brasil está em vias de se tornar o quinto país com mais certificações LEED, selo verde mais disputado no mercado da construção civil hoje no mundo. Hoje o país tem quase cem edifícios pré-certificados ou em processo de certificação (Jornal Folha de São Paulo, 27/01/2009, citado em http://www.asbea.org.br).

6 Perspectivas futuras: água, energia e nutrientes

Eduardo Cohim, Asher Kiperstok, Luiz Sérgio Phillipi ,Wolney Castilhos Alves, Ricardo Franci Gonçalves

Neste capítulo abordam-se diversos encaminhamentos estudados para o aumento da racionalidade e a consequente sustentabilidade ambiental do setor saneamento. Segregação de correntes visando ao máximo reúso. Soluções sem veiculação hídrica; a retirada da água como transportador de dejetos. Energia no setor saneamento. Uma aproximação ao conteúdo energético dos esgotos domésticos. O ciclo dos nutrientes e o saneamento. Aspectos culturais. No item a seguir abordam-se as lacunas que o setor precisa preencher para promover uma maior sustentabilidade ambiental nas suas ações. Para se responder à pergunta do que é sustentável, novos instrumentos de análise são necessários. Isso é discutido no Item 3. Nos Itens 4, 5 e 6 apresentam-se três dos instrumentos considerados centrais para a ampliação da sustentabilidade ambiental do setor: a gestão da demanda de água, a questão da energia e dos nutrientes a esse associados. Por fim no Item 7 reflete-se sobre os aspectos culturais que devem ser considerados ao longo desta discussão.

6.1 Sobre a racionalidade das práticas de saneamento atuais

A necessidade de mudanças tecnológicas e comportamentais radicais no setor de saneamento, numa perspectiva de médio e longo prazos, exige uma discussão imediata de quais os passos que devem e podem ser tomados desde já. O que a sociedade aceita e é capaz de fazer já? Como se construir a consciência social necessária para que os

passos necessários possam ser dados? Enfim trata-se aqui da conhecida discussão do desenvolvimento sustentável e o que a sociedade está disposta a pagar por ele. O enfoque aqui realizado tem por base o ciclo urbano das águas, que vem a ser parte da responsabilidade do saneamento básico e o objeto principal de pesquisa da rede temática 5 do Prosab 5.

Existe uma plena concordância de que o esgoto sanitário tem que ser tratado, mas ainda há divergências se isso deve ocorrer para facilitar seu descarte ou aproveitar a água e os nutrientes. Se for para aproveitar os nutrientes, será isto feito de medidas do tipo "fim de tubo", como redirecionar os efluentes das ETEs, ou a partir da segregação da urina na fonte? Qual alternativa encerra um menor conteúdo energético? Qual alternativa permite ao setor saneamento dar a sua melhor contribuição para a construção do desenvolvimento sustentável?

As soluções que venham a ser praticadas seguramente serão múltiplas e variadas e irão depender das condições ambientais e antrópicas que cada situação demande. Mesmo assim pode-se perceber que novos paradigmas estão em jogo. O fato de a cidade de Hong Kong usar água do mar para operar o ciclo urbano da água não potável associado ao afastamento das excretas deve ser analisado. Isso permite uma considerável economia de água e energia, mas e os nutrientes? A urina começa a ser separada em grande escala nesta cidade, mas com o fim de se aproveitar a amônia no combate à corrosão desse sistema (VAN LOOSDRECHT, 2008).

6.2 Importância do setor saneamento e lacunas a serem preenchidas

A palavra saneamento deriva do latim *sanus*, que quer dizer **são**, sadio. Entende-se, pois, que o saneamento ambiental urbano se ocupa da manutenção de condições saudáveis nas habitações e em seu entorno, evitando a propagação e transmissão de doenças. Apesar de incluir as atividades relacionadas ao manejo dos resíduos sólidos e da drenagem urbana, é comum referir-se ao *setor saneamento* quando se quer falar do abastecimento de água e de esgotamento sanitário. E o produto desse setor não é outro senão a promoção da higiene e da saúde. Em matéria publicada no site da BBC (2007), divulgou-se uma pesquisa feita entre mais de 11 mil pessoas em todo o mundo pelo *British Medical Journal*, na qual o saneamento é apontado por 15,8% dos consultados, à frente da descoberta do antibiótico e das vacinas, como o maior avanço médico de todos os tempos.

Mas, apesar das incontestáveis conquistas para a saúde, as soluções para o saneamento têm sido pautadas segundo o mesmo modelo estabelecido quando da sua

criação em meados do século dezenove. Naquele momento, sob a pressão de sucessivas epidemias, Edwin Chadwick propôs a distribuição de água e a coleta e o afastamento dos esgotos como forma de eliminar os "vapores nocivos" causadores das doenças. Assim, apoiado num equívoco, surgiu o saneamento moderno. Só alguns anos mais tarde John Snow demonstrou que a transmissão do cólera ocorria pela água. Entretanto o então novo modelo não teve aceitação unânime. As excretas que eram removidas de fossas eram em grande parte as responsáveis pela manutenção da fertilidade dos solos agrícolas e seu valor seria reduzido em decorrência do aumento do volume pela adição de água. Além disso, o lançamento dos esgotos nas águas superficiais comprometia a qualidade da água e transferia o problema para jusante. A descoberta dos fertilizantes químicos, que veio suprir a redução de nutrientes vindos das excretas, a ampliação das fronteiras agrícolas, incorporando novos solos férteis e o entendimento dos processos biológicos e sua aplicação para atenuar os impactos causados pelo lançamento dos esgotos nos cursos d'água, no final do século dezenove, contribuíram para a superação desses obstáculos e, consequentemente, para a consolidação do novo modelo de distribuição d'água e coleta de esgotos. (COHIM & KIPERSTOK, 2007).

Daí, na busca do atendimento às demandas sanitárias fundamentais, o setor saneamento tem sistematicamente relegado as questões associadas ao impacto ambiental e energético das suas intervenções a um plano menos prioritário. Isto tem contribuído para dificultar a própria expansão dos serviços. Mesmo a atenção para com os corpos receptores, limite da abrangência da preocupação ambiental do atual modelo de saneamento, não tem sido levada em conta, resultando na progressiva degradação da qualidade das águas superficiais com o consequente encarecimento do tratamento da água à jusante. Além disso a deterioração da qualidade dos mananciais, associada às altas taxas de desperdício, obriga as empresas concessionárias e os órgãos públicos a buscar água de fontes cada vez mais distantes. Isso leva ao aumento tanto do teor energético da água como dos custos dos investimentos.

Para o atendimento de suas obrigações funcionais, reduzidas neste texto ao abastecimento de água e ao esgotamento sanitário, o setor saneamento retira água dos mananciais, trata, reserva e a distribui à população nos aglomerados em que esta se assenta. Sua responsabilidade cessa na entrega do produto na ligação domiciliar, onde este é medido para ser retomado na saída da mesma do prédio, já na forma de esgoto sanitário. O esgoto é conduzido através de tubulações e sistemas de bombeamento até os pontos de descarte em corpos receptores. Na nossa realidade, e mesmo na de países mais desenvolvidos, antes do descarte, nem sempre ele é tratado de forma a reduzir o seu impacto sobre os mananciais de água ou outros corpos receptores.

A visão atual se limita à busca, nem sempre bem sucedida, da manutenção da qualidade das águas nos mananciais utilizados para preservação dos estoques da matéria-prima. De certa forma começa a existir uma preocupação com a energia elétrica utilizada pelas empresas concessionárias em função da sua importância na composição dos custos dos serviços (16% das despesas de exploração - BRASIL, 2007). A energia é necessária para fazer circular a água ao longo do sistema: dos mananciais ao tratamento, aos reservatórios e aos pontos consumidores e daí às estações de tratamento de esgotos e aos corpos receptores (por sua vez mananciais para populações localizadas a jusante), mas não se tem ainda uma idéia clara da quantidade de energia que o setor usa nem do conteúdo energético de cada litro de água utilizado. Conforme é discutido no Capítulo 3 desse livro, não se leva em consideração, por exemplo, aspectos relevantes da energia desperdiçada ao nível dos usuários, no recalque dos reservatórios domiciliares enterrados para os superiores, mesmo em lugares onde a pressão disponível na rede é suficiente.

Não se questiona, tampouco, se toda a água distribuída é realmente necessária. Nem a energia necessária e os impactos ambientais associados à produção dos produtos químicos utilizados nas estações de tratamento, das tubulações usadas no transporte da água, do concreto empregado nas estruturas utilizadas nos sistemas e nos recursos ambientais necessários à produção desses insumos. Isso não tem sido incluído na contabilidade ambiental do setor saneamento. Não se leva em conta que as fezes e urina, importantes subprodutos do metabolismo humano, que se pretende afastar de contato direto com as populações, algumas horas antes eram alimentos e alguns dias antes eram nutrientes no solo. Isso também não faz parte da contabilidade ambiental do saneamento.

É preciso ampliar a conceituação ecológica e ambiental do saneamento. Ela não deve continuar se restringindo às avaliações de impacto ambiental que se limitam à análise de supressão de vegetação e geração de odores. As consequências das ações do saneamento no ambiente transcendem esses limites. O setor deixa de considerar outros aspectos ambientais das suas atividades, incluindo a própria disponibilidade de água para outros usos. Esta atitude se baseia, em parte, no fato de que legislação garante prioridade no uso da água para o atendimento as necessidades humanas básicas, isto é, aquelas oferecidas pelo setor saneamento.

Em nível mundial essa discussão já começou e vem ganhando grande importância em eventos internacionais. Um elemento fundamental que impulsionou essa discussão, assim como vem acontecendo em tantas outras áreas, é a evidencia do fenômeno das mudanças climáticas, a partir do alerta desencadeado pelo Grupo de Trabalho I do IPCC, o Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas, que lida com a base

científica que fundamenta a origem antrópica do efeito estufa. Esse Grupo de Trabalho, no seu quarto relatório de avaliação de fevereiro de 2007, afirma com um "grau de confiança muito alto" que o efeito das atividades humanas desenvolvidas desde 1750 tem sido o de provocar o aquecimento global (IPCC, 2007).

Mais recentemente, em junho de 2008, o IPCC publicou um relatório técnico denominado "Mudanças climáticas e água" no qual foca especificamente a relação entre esses dois temas (BATES *et al.*, 2008). Esse documento aponta para a necessidade de se introduzir as informações oriundas dos modelos de simulação dessas mudanças nos procedimentos de cálculo, por exemplo, das contribuições meteóricas, de águas superficiais e subterrâneas para os sistemas hídricos e de saneamento. Afirma que projetos baseados apenas em séries históricas de dados poderão não ser mais adequados.

No último Congresso Bianual da Associação Internacional da Água (IWA), uma das maiores e mais respeitadas instituições internacionais do setor, ocorrido em Viena em setembro de 2008, o tema ocupou o principal espaço de discussão. Discutiu-se em apresentações de destaque, seminários amplos e sessões de apresentação de trabalhos técnicos o posicionamento que o setor água e saneamento deveria ter frente ao inegável fenômeno das mudanças climáticas. O assunto foi abordado tanto do ponto de vista da influência da água no setor energético (água na energia) quanto da influência da energia no setor saneamento (energia na água), estendendo-se para o assunto das cidades sustentáveis.

A Organização Mundial da Saúde, no documento "Protegendo a Saúde das Mudanças Climáticas" alerta para a necessidade de ações para melhorar a saúde e proteger o clima, entre elas (WHO, 2008):

- Prover orientação das implicações das mudanças climáticas na saúde e desenvolver políticas para tanto.
- Assegurar que a saúde esteja presente nos planos de adaptação e mitigação às mudanças climáticas.
- Emitir recomendações tanto nos efeitos positivos como negativos para a saúde de decisões chave tais com as referentes à produção de energia, transporte e recursos hídricos.

Apesar de ser uma preocupação recorrente nos mais diversos setores produtivos, para o setor água o problema se reveste de tons de grande dramaticidade. O efeito principal das mudanças climáticas é a alteração do ciclo da água em nível mundial, influenciando no comportamento das precipitações e, consequentemente em todo o ciclo hidrológico. Países como a Austrália já sofrem situações de seca nunca antes vivenciadas. Outras regiões sofrem de inundações também inéditas. Instituições e pesquisadores utilizam os conceitos de adaptação e de mitigação dos efeitos das Mudanças Climáticas.

Tem se denominado ADAPTAÇÃO as ações tomadas pelo setor para reduzir o impacto das mudanças climáticas sobre os sistemas hidráulicos sob sua responsabilidade. Denomina-se MITIGAÇÃO as medidas que o setor pode desenvolver para reduzir a sua participação na promoção das mudanças climáticas. Um dos grandes problemas em debate se refere ao fato de que muitas das medidas de adaptação poderão gerar um agravamento da emissão de gases estufa. Cite-se o exemplo da dessalinização da água do mar, alternativa em franca expansão, demandar acima de 3,6 kWh de energia por m^3 de água produzida. Esta demanda energética sendo atendida por termelétricas aumenta a pressão sobre as mudanças climáticas. O transporte de água a distâncias cada vez maiores também requererá mais energia, e isso se tornará cada vez mais grave na medida em que as contribuições hidrológicas venham a se transformar, seja na sua intensidade, seja na sua localização. Especialistas já apontam para a falência de cálculos de contribuição da chuva e das vazões de rios, baseados apenas na análise das séries históricas existentes. Será cada vez mais necessário se planejar a disponibilidade dos mananciais, sejam os atualmente aproveitados, sejam os que ainda o deverão ser, à luz dos modelos matemáticos construídos pelo IPCC para previsão das mudanças climáticas.

No Brasil, o Plano Nacional sobre Mudança do Clima, publicado em setembro de 2008, mostra preocupação com a vulnerabilidade do setor recursos hídricos e sua adaptação notadamente às variabilidades das series históricas utilizadas para previsão da oferta de água. Reconhece-se a fragilidade do país no que se refere à capacidade de simular os efeitos das mudanças climáticas no comportamento das bacias hidrográficas, na medida em que inexistem cenários climáticos em condições de orientar o país no processo de adaptação. Estes, contudo, estariam sendo construídos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (BRASIL, 2008). Quanto às medidas de mitigação, o setor saneamento é diretamente considerado no segmento de resíduos sólidos em função do potencial de aproveitamento energético do biogás produzido em aterros sanitários. O segmento água e esgotos é timidamente citado, basicamente nos esforços do programa Procel Sanear na otimização do uso de energia elétrica nos sistemas. Nesse plano nacional existe uma breve consideração do potencial de aproveitamento energético dos esgotos e cita-se o Atlas de Abastecimento Urbano de Água, elaborado pela Agência Nacional de Águas, que incentiva o uso mais eficiente da água.

6.3 A sustentabilidade do setor saneamento

É evidente que a sustentabilidade ambiental só será construída mediante o equacionamento das questões ambientais urbanas. A sustentabilidade global depende da sustentabilidade das cidades e esta é impossível se os subsistemas dos quais depende não forem sustentáveis. O conceito de Desenvolvimento Sustentável que tem sido adotado

de forma recorrente é o do Relatório Brundtland (ONU,1987), cuja tônica repousa na capacidade de atender às necessidades atuais sem comprometer o atendimento das necessidades das gerações futuras. As pessoas sempre precisarão de alimento, água e abrigo para sobreviver, mas, para prosperar, certamente precisarão mais do que isso. E a geração atual não pode ter a presunção de saber tudo aquilo de que as gerações futuras precisarão para prosperar (ASSADOURIAN & PRUGH, 2003). Dessa maneira, menos ambíguo que o referido relatório seria definir sustentabilidade como a habilidade de viver dentro dos limites de capacidade suporte do ambiente.

Em que medida as práticas correntes de saneamento nas regiões urbanas do planeta enquadram-se nos critérios de sustentabilidade? Na abordagem aqui apresentada, os recursos gerenciados pelo saneamento básico, como seu foco de atenção primária, são a água e os dejetos humanos. Estes são utilizados e gerados nos locais de permanência das pessoas: as residências e os locais de trabalho, comércio e lazer. Esses locais podem então ser considerados o ponto de encontro de dois ciclos fundamentais para o equilíbrio ecológico das cidades, conforme ilustrado por Jenssen *et al.* (2006) na figura 6.1.

No ciclo natural[1], a água circula na Terra pela precipitação, pelo escoamento superficial, pelo escoamento subsuperficial e pela evaporação. A chuva que cai sobre os continentes é transpirada pela vegetação, uma parte percola para os aquíferos e outra parte escoa superficialmente em rios que fluem para os oceanos, em um ciclo permanente cujo tempo médio é de 2500 anos (ADIN *et al.*, 2001). O crescimento econômico[2] e a necessidade de alimentação da população constituem as duas principais ameaças ao abastecimento de água. A escassez de água e a poluição dos recursos hídricos representam um problema de saúde pública, limitam o desenvolvimento econômico e agridem o meio ambiente, consequências mais notadas nos países em desenvolvimento (NIEMCZYNOWICZ, 1996).

FONTE: ADAPTADO DE JENSSEN ET AL. (2006)

Figura 6.1 Inserção das habitações no ciclo dos nutrientes e da água

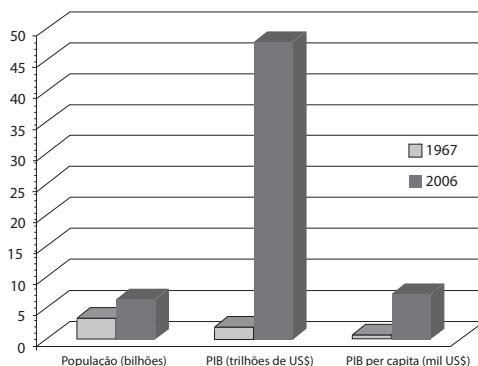
Convém observar que crescimento populacional e crescimento econômico não têm ocorrido na mesma proporção (figura 6.5). Enquanto a população cresceu nos últimos 40 anos de 3,4 para 6,5 bilhões (menos de duas vezes), a atividade econômica mundial, medida pelo Produto Interno Bruto de todos os países, cresceu 24 vezes (de 2 para 48 trilhões de dólares. Isto significa que o PIB *per capita* mundial, nesse período, cresceu 12,6 vezes (Figura 6.2).

FONTE: ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ONU CITADO POR REVISTA EXAME DE 5/12/2007

Figura 6.2 Evolução da população e do PIB mundiais 1967–2006

Considerando que existe uma forte relação entre PIB e consumo, assim como entre consumo e uso dos recursos naturais (GRAEDEL &ALLENBY, 1998; CHERTOW, 2001; KIPERSTOK *et al.*, 2002; AISSE; COHIM & KIPERSTOK, 2006), não é difícil observar que o crescimento do impacto ambiental tem se devido muito mais ao crescimento econômico do que ao populacional. No entanto insiste-se ainda em focar apenas no crescimento populacional como o grande inimigo da sustentabilidade.

O problema da escassez de água pode incluir os casos de pequena capacidade de oferta decorrente da baixa pluviosidade, como também os de elevada demanda decorrente da excessiva concentração urbana em cidades de maior porte. Tanto em um caso quanto no outro, observam-se níveis crescentes de pressão sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, decorrentes do aumento progressivo da extração, como também do crescimento da degradação da qualidade em consequência do lançamento das águas residuárias.

Em termos de massa, a água é, indiscutivelmente, o principal componente do metabolismo urbano. Wolman calculou para uma cidade americana hipotética de 1 milhão de habitantes, em 1965, uma entrada diária de 625.000 toneladas de água para 9.500

de combustível e 2.000 de alimentos (DECKER *et al.*, 2000). Esse total se refere apenas à entrada ativa, aquela decorrente do trabalho humano. Deve-se considerar, contudo, que para a produção de uma tonelada de cereais gastam-se 1000 toneladas de água e 2000 para cada tonelada de arroz (TAMBO, 2003) (tabela 6.1).

Tabela 6.1 > Padrões de consumo para mercadorias selecionadas segundo o *Indira Ghandi Institute of Development Research* (1991)

PRODUTOS	TOTAL MUNDIAL	PARTICIPAÇÃO %		PER CAPITA KG		RELAÇÃO ENTRE CONSUMOS *PER CAPITA*	
	10^6 TON.	PAÍSES DESENVOLVIDOS	PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO	PAÍSES DESENVOLVIDOS	PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO	PAÍSES DESENV. / PAÍSES EM DESENV.	EUA/ÍNDIA
Cereais	1.801	48	52	717	247	3	6
Papel	224	81	19	148	11	14	115
Alum.	22	86	14	16	1	19	85
Qui.Inorg.	226	87	13	163	8	20	52
Qui.Org	391	85	15	274	16	17	28
Autom.	370	92	8	0,283	0,012	24	320
CO_2 anual	5.723	70	30	3,36	0,43	8	27

FONTE: ADAPTADO DE PARIKH *ET AL.* (1994).

Tambo (2003) cita também que o Japão importa, apenas nos cereais que consome, mais água virtual (no caso, água verde) que todo o seu consumo urbano e industrial. Dados do Instituto Indira Ghandi mostram que, mesmo para produtos alimentares básicos como os cereais, o consumo total da pequena população "desenvolvida" é próximo daquele dos "subdesenvolvidos" (PARIKH, J. *et al.*, 1994). Isto faz com que a relação entre o consumo *per capita* destes grupos sociais seja de 3 para 1.

Uma quantidade significativa de água entra nas cidades por meio da precipitação e dos rios que as atravessam, o que torna ainda mais destacada sua predominância frente a outros componentes do metabolismo urbano. Salvador, por exemplo, com cerca de 3 milhões de habitantes, recebe anualmente 315 milhões de metros cúbicos pelo sistema público de abastecimento e, com uma precipitação média de 2098 mm (SEI, 1999) e uma área de 310 km², recebe quase 2 vezes mais (650 bilhões de metros cúbicos) pelas chuvas. E a maior parte dessa água meteórica é tratada como problema.

A urbanização produz um forte impacto sobre o ciclo das águas. Por um lado, o alto grau de impermeabilização resulta em um escoamento mais rápido e de maior volu-

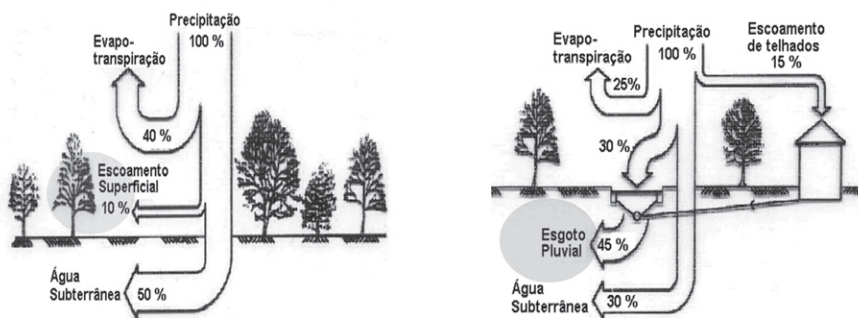
me, causando alagamentos e desabamentos. Por outro, reduz de forma substancial a contribuição de recarga do lençol subterrâneo e o escoamento de base, resultando na redução das vazões dos rios urbanos durante os períodos secos e no comprometimento da recarga dos aquíferos que poderiam ser aproveitados como uma fonte de abastecimento local (figura 6.3).

FONTE: OECD (1986) APUD TUCCI & GUENZ (1995)

Figura 6.3	Parcelas do ciclo hidrológico: bacia natural (esquerda); bacia urbanizada (direita).

Do total de água que entra nas residências das cidades pelos sistemas de abastecimento, cerca de 80% é transformado em esgoto municipal após o uso. A parcela que entra na cidade de forma passiva é tratada como esgoto pluvial. Os sistemas para os esgotos sanitários e para as águas pluviais são projetados com o objetivo de afastar de forma mais rápida tais correntes, utilizando corpos d'água superficiais como receptores para disposição final e diluição. Cada uma dessas linhas de fluxo da água no ambiente urbano é estudada em uma disciplina diferente, o que limita a visão integradora para a gestão mais eficiente do recurso. Como resultado, importam-se grandes volumes de água para atender as demandas e exportam-se outros tantos após o uso, caso do esgoto sanitário, ou sem uso, caso das águas pluviais, a um custo elevado para implantar e manter cada um dos respectivos sistemas (COHIM, 2008).

A situação relativa ao recurso água já caminha para um quase consenso social: a situação de escassez e a necessidade de preservação, embora ainda não levadas à prática, é aceita hoje sem grandes questionamentos. A situação dos nutrientes e sua relação com o manejo dos dejetos e a produção de alimentos ainda é ignorada pelo setor saneamento, embora seja fundamental o entendimento de seu fluxo através do organismo urbano para a definição de estratégias de manejo bem sucedidas. A sustentabilidade das cidades depende da sustentabilidade da produção de alimentos.

Num sistema natural em equilíbrio não existe resíduo. Os organismos produtores utilizam as substâncias minerais existentes no solo para síntese de biomassa que é utilizada pelos consumidores que a convertem em nova biomassa e em subprodutos (fezes e urina). Tais subprodutos, por sua vez, são utilizados por microrganismos para síntese de material celular, gerando como subprodutos matéria mineral que é utilizada pelos produtores para o início de um novo ciclo.

Nos sistemas urbanos observa-se uma quebra dessa ordem. As cidades recebem alimentos e água e, também, os convertem em biomassa e resíduo. Parte desses resíduos é gerada em decorrência da baixa eficiência de utilização dos alimentos recebidos, que apodrecem antes até mesmo de serem comercializados. Outra parte é gerada pelo desperdício nos locais de consumo (residências, restaurantes, etc.). Finalmente outra parte resulta do nosso metabolismo fisiológico. As duas primeiras parcelas são descartadas com o lixo urbano. A última parcela dos resíduos é transportada em grandes volumes de água e lançados em corpos d'água.

Nessa forma de manejar esse recurso já não se identifica o fechamento de ciclos. Ao contrário, observa-se um fluxo aberto no qual o nutriente é removido do solo na forma de alimento e descartado em aterros ou em corpos d'água superficiais, como esgoto sanitário. Os impactos ambientais decorrentes desse processo são diversos. Em primeiro lugar, a retirada contínua de nutrientes do solo causa a redução de sua fertilidade, que, num primeiro momento reduz sua capacidade de produzir alimento e, em último estágio, resulta em erosão e desertificação. Em segundo lugar, o lançamento de excesso de nutrientes nos corpos d'água provoca eutrofização, reduzindo a qualidade da água e empobrecendo a diversidade biológica do meio.

Nos processos domésticos os nutrientes são transformados continuamente e em larga escala. Ao analisar o fluxo de materiais da cidade africana de Kumasi, Gana, Forster *et al.* (s.d.) observam que 87% de nitrogênio e 82% de fósforo descartados aos cursos da água superficiais e subterrâneos tinham passado pelas residências. Girardet (1992), citado por Kennedy (2007), sugere que a sustentabilidade das cidades, do ponto de vista dos nutrientes, requer o retorno desses para as terras agrícolas. As baixíssimas taxas de reciclagem de nutrientes praticadas atualmente em nas cidades ressaltam a falta de sinergia existente entre cidades e zonas rurais. Mas nem sempre foi assim.

Até o século 19 o retorno dos resíduos das cidades para os campos era uma prática dominante na Europa e nos Estados Unidos (HAMLIN, 1980; KENNEDY, 2007). Quando da construção do sistema de esgotos de Paris, que passou a jogar os dejetos humanos nos rios, Victor Hugo se posiciona denunciando esta prática[3].

A partir da década passada, questões relativas à sustentabilidade ambiental do saneamento, suas implicações e necessidade de novas soluções foram retomadas. A Revista

Water Science and Technology dedicou um número inteiro em 1997 (WST, v. 35, n. 9) a novos conceitos necessários à melhoria dessa eficiência e a *International Water Association* mantêm um grupo de especialistas dedicado ao tema. O tema já encontra respaldo, também em órgãos internacionais multilaterais como o Banco Mundial, Unicef, Unep e FAO.

Passou-se a buscar novas ferramentas que ampliem a abrangência da análise ambiental das soluções de saneamento, possibilitando o desenvolvimento de novas soluções, com melhor desempenho ambiental. Afinal, como disse a Dra Kristalina Georgieva, Diretora do Departamento de Meio Ambiente do Banco Mundial, citando o Professor Doug Webster da Universidade de Stanford: "*Nada mudou realmente no saneamento urbano nos últimos 150 anos; esse é um dos campos menos desenvolvidos tecnologicamente*" (GEORGIEVA, 2001). As atuais ferramentas que consideram os impactos ambientais limitados à supressão de vegetação, geração de material de aterro, geração de ruídos, inundação de grandes áreas, etc, têm que ser substituídas por novas que explicitem de forma mais clara a extensão dos impactos decorrentes do modelo atual.

6.4 Instrumentos de análise da sustentabilidade ambiental

De certa forma o setor saneamento tem cometido o mesmo erro de outros setores produtivos: o de relegar a questão ambiental a um segundo plano, em função, talvez, dos objetivos e da nobreza da sua função social. Trata-se de um comportamento comum no qual a premência por se encontrar soluções para os problemas atuais leva a se deixar para um momento posterior a consideração dos efeitos das ações no futuro. Na busca da universalidade da cobertura dos serviços, relega-se a sua sustentabilidade.

Não se trata de questionar aqui a propriedade ou não desta forma de se agir. Procura-se apenas apontar para aspectos normalmente menos visíveis das práticas habituais do saneamento básico. Visa-se à discussão e ao desenvolvimento de novos conceitos e modos de atuação, que tragam para as considerações atuais, os impactos futuros ou, nem tão futuros assim, das ações empreendidas hoje. O desafio da sustentabilidade requer inovações tanto comportamentais quanto tecnológicas. O radicalismo associado a estas inovações depende do ritmo de avanço da destruição das condições naturais que sustentam a vida no planeta. Por sua vez, a distribuição entre o comportamental e o tecnológico, das demandas por inovação, exigem um esforço de percepção de como as suas respectivas curvas de crescimento se dão, ou deveriam se dar. Isto tem reflexo no crescimento econômico e na distribuição da riqueza. Alguns fenômenos globais permitem uma percepção, mesmo que vaga, do grau associado às mudanças necessárias para se construir o desenvolvimento sustentável. Entre outros, podem ser considerados:

- O rápido crescimento econômico de países como a China, Índia e outros países subdesenvolvidos, incluindo o Brasil.
- Os padrões de consumo desejados globalmente, projetados a partir das práticas dos países opulentos.
- A constatação da irreversibilidade do fenômeno das mudanças climáticas.
- O crescimento de doenças degenerativas associadas a desequilíbrios do ambiente social e natural.

Alguns autores apontam para a necessidade de se usar o conceito de ecoeficiência e almejar uma grande expansão na implementação deste, nas próximas décadas, para se vislumbrar condições de sustentabilidade ambiental. Von Weizsäcker & Lovins (1997) falam do Fator 4 enquanto que outros como Graedel & Allenby (1998) e Weaver *et al.* (2000) se referem a necessidade de se aumentar a ecoeficiência da sociedade em Fator 10, e até 50 nas próximas cinco décadas[4]. A abordagem da ecoeficiência se distingue dos critérios normalmente adotados em estudos de impacto ambiental, por procurar considerar todos os impactos ambientais associados a uma determinada alternativa e não apenas àqueles relacionados com o entorno imediato desta. Mesmo pretendendo ser abrangente do ponto de vista ambiental, esta abordagem não considera, ainda, aspectos sociais.

Ecoeficiência considera sim, os aspectos econômicos das alternativas avaliadas. Procura a maior produtividade na alocação dos recursos naturais por unidade produzida ou resultado alcançado. Em outras palavras, o maior resultado setorial por unidade de recurso natural utilizado a exemplo da água, a energia, o território, etc. Ao se usar este conceito no setor saneamento, onde o produto final tem forte repercussão social, o resultado da atividade do setor necessariamente agrega fatores sociais ao produto. Para o leitor não acostumado com esse conceito, deve-se chamar a atenção à complexidade associada a uma avaliação que considere *todos* os impactos ambientais de um produto ou processo. Mais ainda, se estes são considerados ao longo de todo ciclo de vida do produto, processo ou atividade avaliada.

Existem vários instrumentos que visam facilitar uma compreensão abrangente do impacto ambiental provocado por um indivíduo, processo, produto ou até sociedade. Todos esses instrumentos devem, contudo, ser considerados como de apoio a processos de tomada de decisão, que tragam considerações de caráter econômico e até social e que não dispensem a necessária abertura de informações e o caráter democrático que as atitudes na esfera ambiental requerem.

Entre os instrumentos mais simplificados, que visam à popularização da percepção dos impactos ambientais se encontram a "Pegada Ecológica" e o "Pensamento de Ciclo

de Vida". Entre aqueles que têm se esforçado em desenvolver mecanismos e bancos de dados com maior rigor científico se encontram a Análise de Ciclo de Vida, ACV, Análise de Fluxo de Materiais, e Análise Exergética. A Análise Emergética[5] também tem apontado para espaços interessantes de desenvolvimento e aplicação de alternativas de menor impacto ambiental e social, mas não será aqui aprofundado.

Todos estes instrumentos têm em comum a construção de mecanismos que permitam avaliar de forma quantitativa o desempenho ambiental abrangente de processos e produtos. Procuram medir para orientar uma ação ambientalista mais consistente. A Pegada Ecológica expressa a parcela do planeta, em hectares, utilizada para sustentar a produção de insumos e a assimilação dos dejetos que um grupo social lança no ambiente (figura 6.4).

Esse conceito tem se popularizado de publicações e endereços da internet, associados a autores e organizações conceituados[6], para facilitar a percepção de quantos hectares de terra um indivíduo ou grupo social requerem para atender seus padrões de consumo. Segundo a *Global Footprint Network* (2008), atualmente o planeta precisa de 14 meses para regenerar o que foi consumido em um ano pela população. Isto é, são necessários 1,23 planetas para produzir de forma sustentável os recursos consumidos pela humanidade atualmente (figura 6.5).

FONTE: REES,WACKERNAGEL & TESTEMALE (1998)

Figura 6.4 Pegada ecológica

FONTE: HTTP://WWW.SUSTAINABLESCALE.ORG (2008)

Figura 6.5 Evolução da pegada ecológica

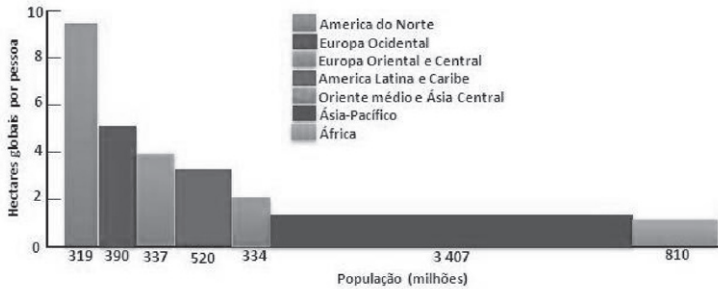
Mas, como anteriormente discutido em relação ao consumo *per capita* e seu rebatimento no uso dos recursos naturais, a pegada ecológica varia muito de país para país e de individuo para indivíduo em função dos hábitos e do poder de compra destes. Enquanto um norte americano absorve os recursos ambientais produzidos por mais que 9 ha da Terra, a pegada de um latino americano fica em torno de 3 ha e a de um africano em torno de 1 ha (figura 6.6).

FONTE: HTTP://WWW.SUSTAINABLESCALE.ORG (2008)

Figura 6.6 Pegada ecológica por regiões do planeta

O conceito de pegada ecologica aplicada à água surgiu em 2002 e foi introduzido com a finalidade de se ter um indicador de consumo de água de maneira a produzir informações adicionais aos já existentes. Segundo Hoekstra & Chapagain (2007), a pegada ecológica da água de uma nação é definida como o volume total de água que é utilizada para produzir bens e serviços consumidos pela população do país. Como nem todos os bens consumidos num dado país são produzidos naquele país, a pegada ecológica da água consiste em duas partes: uso de recursos hídricos nacionais e uso de água de fora do país. Enquanto a pegada ecológica quantifica a área necessária para sustentar o estilo de vida da população, a pegada da água indica a água requerida para sustentar uma população. Este conceito é bastante próximo ao conceito de água virtual. Água virtual é definida como o volume de água requerido para produzir um bem (*commodities*) ou serviço.

Lundqvist e colaboradores (2008) alertam para o enorme desperdício de água associado ao suprimento de alimentos e as dietas adotadas ao redor do mundo (figura 6.7). Em 2006, o conteúdo de água na dieta *per capita* de países mais ricos, cuja alimentação inclui quantidades maiores de carne, era de duas a três (chegando até seis) vezes maior que o dos países mais pobres. Enquanto que, em países como a China e África do Sul, uma pessoa consome de dois a três metros cúbicos de água por dia, por meio dos alimentos, a dieta de cidadãos da França e EUA pode incluir seis metros cúbicos de água por dia.

No âmbito da denominada Ecologia Industrial[7] predomina a aplicação de um instrumento conhecido como Avaliação de Ciclo de Vida. Esta ferramenta de apoio a decisão tem crescido e se desenvolvido nos últimos 10 anos, encontrando-se em vias de consolidação por de métodos, aplicativos computacionais e, principalmente, bancos de dados internacionais. Proposta pela Sociedade Internacional para a Toxicologia e

Química Ambiental, Setac (<www.setac.org>), e adotado por diversos organismos e instituições internacionais como o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e o seu par para o Desenvolvimento Industrial (Unido), a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV[8]) vem sendo implementada gradativamente por meio de pacotes computacionais como o GABi e o SimaPro[9], entre outros.

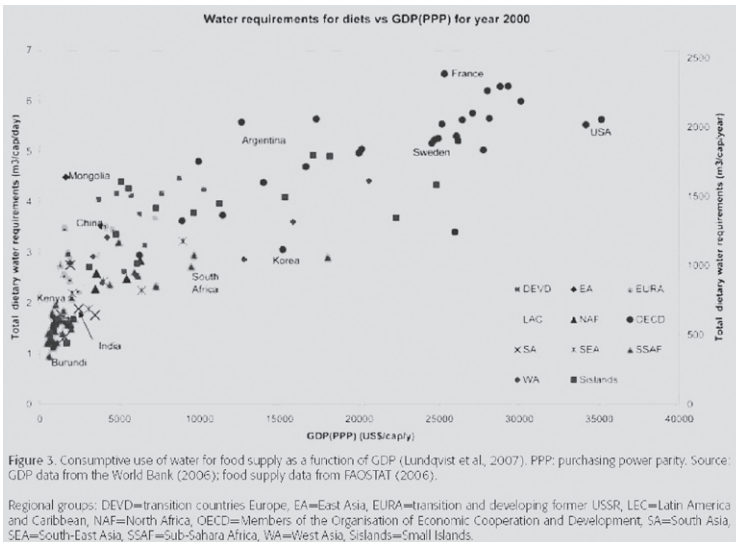



Figure 3. Consumptive use of water for food supply as a function of GDP (Lundqvist et al., 2007). PPP: purchasing power parity. Source: GDP data from the World Bank (2006); food supply data from FAOSTAT (2006).

Regional groups: DEVD=transition countries Europe, EA=East Asia, EURA=transition and developing former USSR, LEC=Latin America and Caribbean, NAF=North Africa, OECD=Members of the Organisation of Economic Cooperation and Development, SA=South Asia, SEA=South-East Asia, SSAF=Sub-Sahara Africa, WA=West Asia, Sislands=Small Islands.

FONTE: LUNDQVIST *ET AL.* (2008)

Figura 6.7 Consumo de água por meio dos alimentos

A ACV encerra um levantamento "do berço ao túmulo" de aspectos de um produto, um processo ou umaatividade e os seus respectivos impactos sobre os diversos compartimentos ambientais. Considera-se da extração da matéria prima, passando pelo seu processamento, sua manufatura, seu uso, seu descarte e seu reaproveitamento, quando isso ocorre, incluindo os insumos que alimentam cada uma destas etapas assim como os rejeitos liberados ao meio ambiente (figura 6.8). No estágio atual de utilização, a ACV encerra ainda razoável subjetividade, o que só poderá ser reduzido com o crescimento e maior interatividade dos diversos bancos de dados que a suportam no mundo.

A aplicação da ACV no Brasil tem sido muito tímida. Pesquisa de mestrado, desenvolvida na UFBA, identificou que, no período de 1997 a 2006, nas universidade brasileiras tinham sido produzidas 47 dissertações de mestrado e 17 teses de doutorado sobre este tema (LIMA, 2007; LIMA *et al.*, 2007; LIMA & KIPERSTOK, 2006). No meio empresarial brasileiro o uso desta ferramenta também é muito incipiente, apesar de se encontrar detalhado

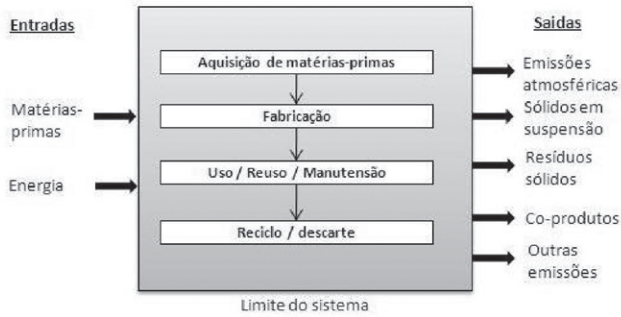
no âmbito das normas de gestão ambiental da ISO 14.000. Lima (2007) pesquisando em relatórios corporativos de sustentabilidade empresarial e outras fontes, encontrou que apenas sete empresas de 33 pesquisadas, todas de grande porte, usavam ACV.

FONTE: EPA (1993) *APUD* USEPA (2006)

Figura 6.8 Etapas do ciclo de vida

Contudo a contribuição deste método não se esgota apenas na sua aplicação plena. Encontra-se razoavelmente difundida, entre os utilizadores da ferramenta, a compreensão de que ela enseja um modo de pensar que amplia a percepção dos impactos ambientais e contribui significativamente com a construção da sustentabilidade. Por essa razão, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e a Setac, por ocasião do sétimo seminário internacional para a Produção mais Limpa, realizada na cidade de Praga em abril de 2002, firmaram uma aliança estratégica para difundir o denominado Pensamento de Ciclo de Vida (*Life Cycle Thinking*) (FAVA, 2002). Antes disso, em 1999, a seção norte americana para ACV da Setac divulgou o documento "*Streamlined Life-Cycle Assessment*" (TODD & CURRAN, 1999) visando apresentar métodos expeditos de ACV para contribuir com a ampliação do seu uso.

Balkema e colaboradores (2002), ao discutir a necessidade de indicadores de sustentabilidade para sistemas de saneamento, citam diversas técnicas para o seu desenvolvimento. Incluem a análise exergética, análise econômica (na linha da valoração ambiental de todos os bens e serviços ambientais), análise de ciclo de vida e análise geral de sistemas, entre outras alternativas. Neste trabalho os autores apontam que a análise exergética permite uma análise comparativa de alternativas baseada em um único indicador, quantificável e preciso: a exergia. Embora esse indicador aponte para a eficiência total do sistema analisado, os citados autores apontam que ele não é adequado para distinguir entre diferentes impactos ambientais.

A exergia é definida por Rosen & Dincer (2001) como uma medida da utilidade, qualidade ou capacidade de provocar mudanças de uma substância ou forma de energia. Ela representa o máximo de trabalho que pode ser extraído de um sistema ou fluxo de material e/ou energia na medida em que este entra em equilíbrio com o seu entorno. Diferentemente da energia que se conserva ao longo dos processos, a exergia é consumida (dada a irreversibilidade dos processos reais) em função inversa à geração de entropia do sistema.

Para Ayres *et al.* (2002) o valor do uso da exergia como meio para se analisar interações com o meio ambiente reside no fato de ela considerar, simultaneamente, tanto a depleção causada pela retirada de insumos do ambiente como pelos impactos causados pelo lançamento de rejeitos neste. Um balanço exergético permite, ao mesmo tempo, considerar tanto fluxos de massa como de energia. Permite ainda levar em consideração, simultaneamente, tanto a primeira lei (conservação de energia) como a segunda lei da termodinâmica (geração de entropia). A exergia de uma substância, fluxo mássico ou energético ou sistema por estes composto, é representado na equação abaixo:

$$B = S(T-T0) - V(p-p0) + \Sigma Ni\ (\mu i - \mu i0) \qquad \text{Equação (1)}$$

Em que: B = Exergia; S = Entropia; T = Temperatura; V = Volume; p = Pressão; N = número de moles; μ = potencial químico da substância; O índice "*0*" se refere ao estado final de equilíbrio do sistema e o meio ambiente.

Hellström, (1997, 1998), citado por Balkema *et al.* (2002), usou a análise exergética para comparar um sistema de esgotamento sanitário centralizado com um descentralizado com separação de urina, concluindo que esta segregação seria interessante se o aproveitamento de nitrogênio for considerado importante. Esta análise também permitiu aos citados autores concluir que uma quantidade considerável de exergia em sistemas de esgotos está relacionada ao fluxo do material orgânico e que parcela importante desta exergia poderia ser retida com o aproveitamento do metano que dele pode ser extraído.

A Análise de Fluxo de Materiais ou de Substâncias, AFM (ou MFA[10]), é uma ferramenta da Ecologia Industrial que permite mapear qualitativa e quantitativamente um fluxo destes ao longo de sistemas antrópicos. Permite o levantamento do seu inventário e, assim, detalha não apenas o potencial como também, as melhores oportunidades para o gerenciamento dos materiais em ciclos fechados. Um exemplo da aplicação dessas técnicas pode ser encontrado nos trabalhos publicados por Graedel *et al.* (2002) sobre a circulação do cobre na Europa.

A aplicação do AFM para, por exemplo, os nutrientes no ciclo de águas urbanas, permitirá um percepção mais clara do seu potencial de aproveitamento assim como das

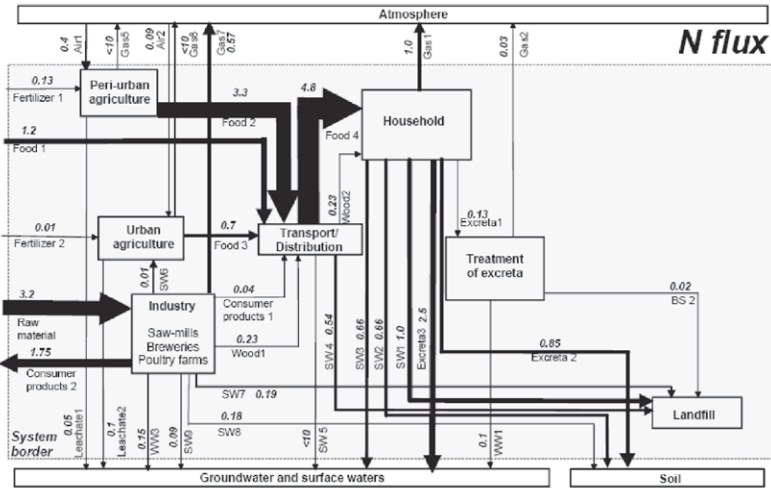
barreiras que deverão ser superadas para tanto. Aplicando essas técnicas, Belevi *et al.* (s.d.) analisaram o fluxo de material orgânico e resíduos na cidade de Kumasi, em Gana, e suas implicações no fluxo de nitrogênio e fósforo (figura 6.9). Seus resultados indicaram que 3.600 T de nitrogênio e 960 T de fósforo atingem os corpos d'água da região. Além disso, 1.700 T de nitrogênio e 500 T de fósforo são descartados anualmente em aterros em diferentes tipos de resíduos e, mais, 1.700 T de nitrogênio e 310 T de fósforo são descarregados sobre o solo.

FONTE: BELEVI *ET AL* .(SD.)

Figura 6.9 Análise do fluxo de nitrogênio em Kumasi, Gana

6.5. Gestão da demanda de água

Conforme discutido nos capítulos anteriores, a finalidade precípua das iniciativas de gerenciamento dos recursos hídricos é lograr um equilíbrio entre oferta e demanda. Isto é, identificar e captar recursos da natureza de forma que possam cobrir a demanda atual da sociedade assim como as expectativas futuras.

Os consumos específicos são considerados valores constantes ou gradativamente crescentes, como quando se identifica o crescimento do nível socioeconômico de uma família ou população e, consequentemente, passa a ser considerada numa faixa de consumo superior. As demandas de água são consideradas exigências que têm que ser atendidas a qualquer custo e não se considera que essas podem ser alteradas ou racionalizadas. Esta forma de gerir a busca do equilíbrio entre a demanda e a oferta é denominada *gestão pela oferta*. Novas instalações são construídas usando os mananciais disponíveis para

atender o que se percebe como aumento da demanda de água, tendo como resultado o uso excessivo dos recursos hídricos e outros recursos, superinvestimento e poluição. As políticas de saneamento e de recursos hídricos no Brasil e na maioria dos países do mundo têm utilizado prioritariamente esse modelo de gestão que pressupõe uma infinita disponibilidade de recursos naturais seja de água ou de energia.

Complementarmente, ou até de forma alternativa, pode se pensar no desenvolvimento de esforços para, invertendo a lógica anteriormente citada, se adequar o consumo à oferta existente. Isso, de fato, tem ocorrido nos momentos de crise, quando os prazos disponíveis para se ampliar as fontes de abastecimento se mostram insuficientes perante o consumo praticado. São os chamados racionamentos ou as campanhas para redução do consumo, em que apelos publicitários dramáticos são produzidos, aliados a medidas administrativas de caráter coercitivo ou econômico. No Brasil, a crise energética de 2001–2002 foi um dos mais recentes e importantes exemplos dessa situação.

Essa forma de gerir os recursos hídricos, que busca a adequação da demanda à oferta, é chamada de **gestão da demanda** e pode ser definida como uma estratégia para melhorar a eficiência e o uso sustentável da água, levando em conta os aspectos econômico, social e ambiental, fazendo uso dos preços, de restrições quantitativas e outros meios, para racionalizar o consumo de água. Os momentos de crise da relação oferta-demanda deveriam se constituir em oportunidades para se pensar sobre a disponibilidade dos recursos naturais a longo prazo, já que colocam, no momento atual, questões do futuro. Deveriam também servir para se questionar a validade de se gerir recursos ambientais apenas pela lógica da ampliação da oferta.

Por diversas razões que não cabe aqui aprofundar, o setor elétrico tem avançado na aplicação do conceito de gestão pela demanda o que pode ser aproveitado para o setor saneamento[11]. Mesmo que, conforme afirma o estudo Brasil, agenda elétrica sustentável 2020, produzido pelo WWF-Brasil (2006), o planejamento desse setor ainda se encontra fortemente voltado para a oferta de energia.

Medidas para a racionalização do uso e metas de estabilização e redução dos gastos de água, tanto consumos específicos quanto desperdícios, têm que se juntar às usuais medidas de ampliação da oferta, no planejamento de investimentos do setor. Nesse sentido a Lei do Saneamento de janeiro de 2007 carece de aprimoramento. Essa lei passou ao largo inclusive das orientações sugeridas pelo PNCDA ao longo de mais de 10 anos de trabalho, sob coordenação do Ministério das Cidades. A eficiência no uso da água deve ser construída tanto ao longo do sistema público como o predial.

São de amplo conhecimento as perdas existentes nos sistemas de abastecimento de água no Brasil, conforme discutido nos Capítulos 2, 3 e 4 deste livro. Entretanto muito pouco se conhece sobre as ineficiências no uso da água no interior dos prédios resi-

denciais e comerciais. Trabalhos publicados no país e no exterior apontam resultados diferenciados e até contraditórios. O fato é que, com os atuais sistemas de medição predial, torna-se muito difícil se separar os desperdícios (consumos indevidos) e as perdas físicas nas instalações prediais, dos gastos que atendem a uma demanda objetiva ou subjetiva do usuário, seja esta higiênica ou de conforto.

A ineficiência do sistema de saneamento no que se refere ás águas residuárias está relacionada tanto com perdas físicas como perdas energéticas. As perdas físicas se referem a parcelas do esgoto que, como as águas cinza[12], são descartadas para os sistemas de esgotamento sanitário quando, com esforço de tratamento menor, poderiam estar sendo utilizadas para reduzir a demanda dos sistemas de abastecimento. Esses efluentes ainda geram gastos energéticos nos sistemas de esgotamento sanitário, tanto nos recalques inseridos nestes como nas estações de tratamento e sistemas de disposição final. Mas cabe também considerar como perda o conteúdo energético da massa orgânica disponível nos esgotos e a sua capacidade de gerar gases combustíveis se fossem inseridos em sistemas de tratamento anaeróbicos.

É também uma perda energética o uso de água em níveis de qualidade acima do estritamente necessário para se atender a usos a que se destina. Toda vez que se dá uma descarga de vaso sanitário com água potável, a energia gasta no seu tratamento e na manutenção da sua potabilidade é desperdiçada num uso que não requer isto[13]. A Organização das Nações Unidas, em 1958 (HESPANHOL, 2003), já sinalizava a diretriz de não se usar água em qualidade superior ao que o seu uso exija, a não ser que esta se encontre em excesso[14].

6.6 Uso racional da água nos sistemas de saneamento

Aqui se incluem todas as ações relacionadas com a busca dos sistemas públicos de abastecimento de água por operar com o mínimo de perdas físicas possível, mas também procurando atender suas responsabilidades com o menor consume energético. Este assunto esta sendo abordado pelo programa Procel Sanear e outra iniciativas das mais diversas origens e se encontra abordado em capítulos anteriores.

6.7 Saneamento descentralizado

De acordo com Philippi e colaboradores (2007), o saneamento descentralizado pode ser definido como a coleta, o tratamento e a disposição final/reúso dos efluentes em residências, condomínios, bairros, comunidades isoladas, indústrias ou instituições, sem realizar o transporte dos esgotos a longas distâncias, não transpondo microbacias hidrográficas.

Os sistemas tradicionais de abastecimento de água e de esgotamento sanitário adotam, por princípio, a centralização. Isso quer dizer que os sistemas são concebidos para captar água em um manancial (às vezes é necessário mais de um), tratar em uma estação e distribuir para os consumidores através da rede. Da mesma forma o esgoto sanitário é coletado em redes ligadas a interceptores que o veicula até a estação de tratamento, aonde chega após passar por estações elevatórias.

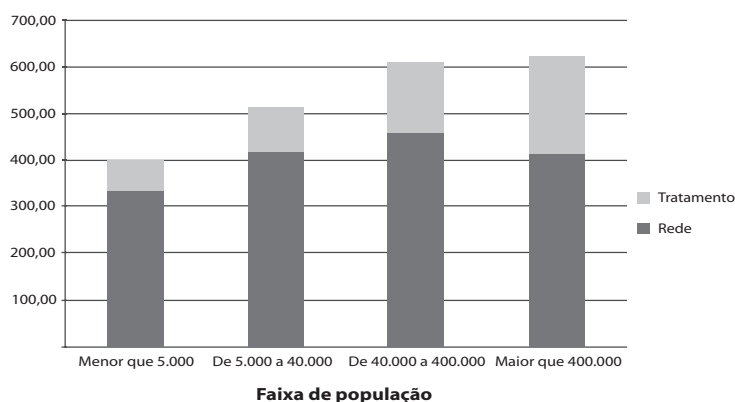
Essa centralização tem um preço. Em estudo elaborado pelo Ministério das Cidades, com vistas ao dimensionamento dos investimentos necessários à universalização do serviço de esgotamento sanitário, foram obtidos preços médios de rede (incluindo ligação domiciliar) e de estações de tratamento de esgoto (incluindo interceptores e elevatória final) (BRASIL, 2003). Observa-se que os custos unitários tendem a crescer com o aumento da população atendida, numa evidente deseconomia de escala (figura 6.10). Observa-se, também, que o sistema de coleta corresponde a cerca de 65% a 83% do custo total do sistema.

FONTE: BRASIL (2003)

Figura 6.10 Custo médio per capita para sistemas de esgotamento sanitário

Para se manter o conceito de centralização nos sistemas de esgotamento sanitário, é preciso o uso de grandes quantidades de água para a realização do transporte dos sólidos nas redes. Estudos mostram que a implantação maciça de vasos sanitários de baixo consumo teve como contrapartida o aumento dos casos de obstrução no sistema de coleta (DEZELAR & MAIER, 1980). Elevados graus de diluição resultam na maior complexidade para recuperação dos nutrientes e energia contidos nos esgotos. Além disso sistemas centralizados coletam esgotos de naturezas distintas, o que aumenta o risco de incorporação de substâncias tóxicas, o que reduziria o potencial de uso produtivo desses esgotos.

Assim as desvantagens da centralização poderiam ser resumidas em: alto custo de implantação e de operação; uso excessivo de água; alto consumo de energia; baixo potencial de reciclagem de nutrientes e energia; e risco de incorporação de substancias tóxicas. Por outro lado, a busca de mananciais mais distantes, decorrente do crescimento da demanda e da degradação da qualidade das águas nas proximidades dos centros consumidores resulta num aumento do custo do metro cúbico de água produzida, conforme apontado por estudos do Banco Mundial em 1992 (VERSTEEG & TOLBOOM, 2003).

Essas considerações levam a pensar no uso de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto urbano. O tratamento do esgoto sanitário em nível microrregional permite o seu lançamento nos cursos d'água ou redes pluviais, reduzindo a extensão dos interceptores usados para conduzir o esgoto até estações de tratamento centralizadas e/ou pontos de disposição final como emissários submarinos. Se projetadas contemplando-se a possibilidade de reúso, com adaptações tecnológicas relativamente simples, as ETEs descentralizadas podem produzir efluentes aptos para atender usos não potáveis em uma escala menor, mais próximo das fontes geradoras a um custo energético e econômico mais baixo.

A despeito das vantagens da descentralização, menos intensiva em recursos e mais ecologicamente benigna, existe um preconceito histórico e institucional contra os sistemas descentralizados (FANE *et al.*, 2001). Em parte isso reflete uma falta de entendimento da verdadeira economia de escala em relação aos sistemas de água e uma presunção de mau funcionamento dos pequenos sistemas de tratamento de esgotos, estes associados quase sempre à idéia de fossa séptica e sumidouro[15].

A introdução de sistemas de tratamento descentralizado e reúso de água em escala significativa em parte depende da evolução tecnológica relacionada com a produção de equipamentos mais compactos e robustos, com capacidade para se adequar a vazões de efluentes variáveis, tanto do ponto de vista das vazões tratadas como da qualidade dos efluentes (GONÇALVES & PINTO, 1998). A evolução dos métodos e das tecnologias de controle e automação tem papel central na obtenção de avanços nessa área.

O grau de descentralização pode variar com o tratamento, servindo uma residência ou até uma comunidade, passando por uma quadra e um bairro, dependendo de fatores como topografia, características do solo, densidade de ocupação, pontos de descarga, etc. Mas o fator mais importante para a tomada de decisão diz respeito ao uso a ser dado à água tratada e aos subprodutos do tratamento.

A questão da operação e manutenção do sistema é crucial para o crescimento e consolidação do modelo descentralizado. As alternativas dependem fortemente das características locais, incluindo o perfil institucional e tecnológico da região. Venhuizen

(2003), entretanto, afirma que, seja qual for o arranjo dos componentes, todo o sistema deve ser operado por uma autoridade central. Argumentos associados à geração de mercado de trabalho, para profissionais da área de saneamento, apontam em direção oposta (PHILIPPI, 2007). As vantagens dos sistemas descentralizados com gestão centralizada são assim resumidas por Pinkham (2000) citado por West (2001):

- saneamento de alta qualidade a menor custo;
- ciclo de retroalimentação mais curto entre o esgoto do domicílio e a qualidade do efluente;
- soluções mais adequadas às realidades locais;
- maior potencial de reúso no local;
- gestão sustentável da água;
- recuperação de recursos importantes, como nutrientes para uso agrícola;
- proteção do meio ambiente e da saúde pública;
- geração de empregos;
- oportunidades de pesquisa.

Wilderer & Schreff (2000) apontam três grandes vantagens para os sistemas descentralizados:

- redução do transporte dos esgotos, o que implica na provável eliminação de elevatórias e reservatórios de estocagem;
- geração de grandes oportunidades de reutilização local dos efluentes e de recarga de aquíferos;
- problemas numa unidade simples não causam colapso em todo o sistema.

As vantagens do saneamento descentralizado reforçam o que se explicita na AGENDA 21 global (ONU, 2004), em que deve ser buscada toda a possibilidade de aumentar as capacidades locais, seja de conhecimento, seja de geração de renda e emprego e de autodeterminação. Assim, além da implantação de grandes sistemas, torna-se importante, no futuro, desenvolver estratégias apropriadas e organizações/agências para operação e projetos de gestão local ou descentralizada.

Norihito Tambo (2003) apresenta o conceito dos sistemas metabólicos de águas urbanas, no qual se preservam os mananciais que possam garantir a máxima qualidade possível para a água potável e se faz reúso da mesma para o atendimento aos usos menos nobres. Desta forma minimizam-se os descartes em corpos receptores interiores, o que passa a ser feito somente após tratamentos avançados. O autor, ex-presidente mundial da *International Water Association* (IWA) de 2001 a 2003, incorpora os

princípios do saneamento ecológico, mas propõe os chamados *distritos d'água* para áreas de maior concentração populacional, procurando reduzir a interferência antrópica nos ecossistemas.

A experiência de Israel no uso de esgotos urbanos tratados na agricultura guarda semelhança com o conceito de distritos de água do Professor Tambo. Naquele país atualmente se utilizam 75% dos esgotos urbanos como fonte para irrigação de campos agrícolas cultivados com práticas avançadas de gestão da água. Este destino permite que os níveis de tratamento sejam menores aos demandados para usos urbano-domiciliares assim como para a recarga de cursos d'água.

6.8 Uso racional da água predial, conhecimento do consumo domiciliar e predial

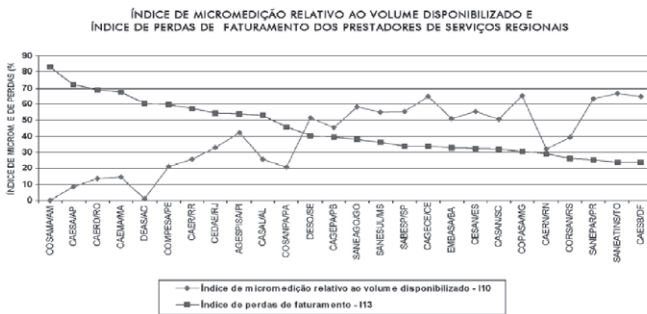
O perfil do consumo de água dentro dos prédios depende de vários fatores que foram analisados no Capítulo 2. A adequação destes fatores de forma a se racionalizar o consumo requer um adequado conhecimento deste. A implementação e o acompanhamento de medições individualizadas por unidade consumidora e por setores dentro das edificações em si, provocam sensíveis reduções no consumo. A evidência da redução do consumo de água associado à medição encontra-se ilustrada na figura 6.11. A medição deve ser o mais setorizada possível de forma a que os usuários tenham condição de acompanhar os componentes dos seus gastos de água e tomar as medidas que considerem adequadas ao seu nível de mobilização para com o tema.

FONTE: BRASIL (2007)

Figura 6.11 Índice de micromedição e perdas de faturamento

Observe os resultados da implantação de medição individualizada em prédios de apartamento. Foi implantada em prédios populares em Salvador-BA, principalmente para

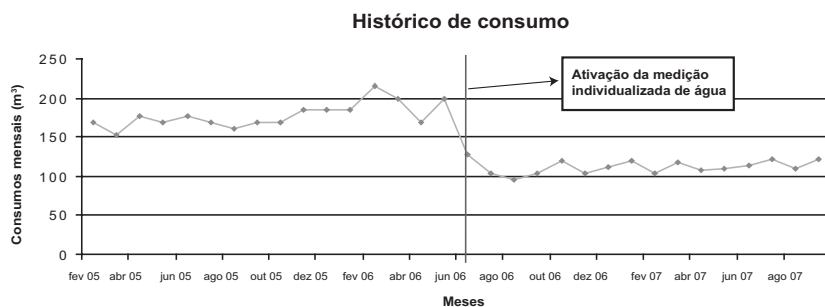
eliminar conflitos entre os condôminos em decorrência do pagamento das taxas condominiais, nas quais a conta de água e esgoto representa cerca de 90%. Os resultados mostram que houve uma redução de até 44% nos gastos de água (figura 6.12).

FONTE: SILVA & COHIM (2008)

Figura 6.12	Variação do consumo mensal de água do Condomínio dos Comerciários (Salvador-BA)

É curioso o fato de que, em um desses prédios, a simples decisão de implantar o sistema de medição derrubou o consumo antes mesmo do início das obras: a perspectiva de se ter que se responsabilizar pelos seus próprios desperdícios levou os moradores a uma corrida para eliminação de vazamentos em seus apartamentos (SILVA & COHIM, 2008).

Num plano individual, a medição também pode ser um importante aliado na redução do gasto de água e dos custos. A realização de leituras mais frequentes possibilita a detecção de anormalidades (vazamentos, por exemplo) permitindo uma tomada rápida de providência, evitando que o problema se avolume. A figura 6.13 mostra um histograma utilizado pelo sistema de acompanhamento de consumo de água da UFBA, denominado de AGUAPURA VIA NET, que pode ser utilizado por qualquer usuário que o solicite pelo *site* <www.teclim.ufba.br/aguapura>.

Um instrumento indispensável para a gestão da demanda é a cobrança pelo uso da água com base no volume efetivamente consumido. A cobrança baseada em taxa fixa, independente do volume consumido, não é estimuladora do uso comedido. Se o consumo de água é medido, o preço cobrado pode ser usado para modificar a demanda.

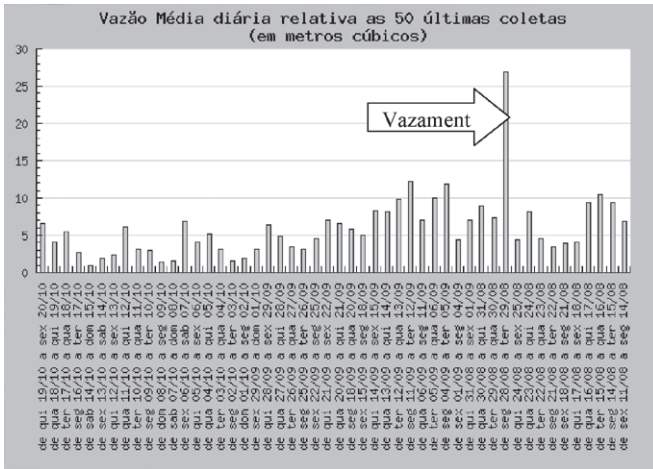
A elasticidade preço mede a resposta da mudança da demanda em função das mudanças do preço cobrado e varia entre países e regiões e tipo de consumidor. Para consumidores domésticos, este indicador varia de -0,2 a -0,8 e para consumidores industriais, entre -0,5 e -1,3 (VERSTEEG & TOLBOOM, 2003). A elasticidade preço é maior para as populações de baixa renda (OLIVIER, 2006). Um valor de -0,5 significa que, para um aumento de 10% no preço, ocorrerá uma redução de 5% na demanda.

FONTE: <WWW.TECLIM.UFBA/AGUAPURA>

Figura 6.13	Acompanhamento diário do gasto de água medido em prédio da Universidade Federal da Bahia

A definição do valor das tarifas deve visar, além da gestão da demanda, à equidade do abastecimento de água, assegurando o atendimento a todos a preços acessíveis e a recuperação do investimento, garantindo a sustentabilidade do serviço. A maioria, das companhias estaduais de saneamento brasileiras opera um sistema tarifário baseado em blocos de consumo com tarifas crescentes para cada metro cúbico consumido e um consumo mínimo com valor fixo.

O consumo mínimo penaliza os consumidores mais pobres, que são os que menos consomem, ficando, em geral, abaixo desse limite. Portanto, em manifesta injustiça, os consumidores mais pobres são aqueles que mais sofrem o impacto do aumento nas tarifas. Olivier (2006) estudou o impacto na demanda de um aumento de 31,5% na tarifa em Manaus. Observou que entre os 20% mais pobres 72% eram cobrados pelo consumo mínimo, fosse porque não tinham o consumo medido, fosse porque consumiam menos que o mínimo. Entre os consumidores com medição deste grupo, houve uma redução de consumo de 21% (elasticidade preço de -0,67). Entre os usuários do grupo dos 20% mais ricos, também houve uma redução do consumo, embora menor: 10% (elasticidade preço de -0,32%). Como consequência dessa redução, a conta dos usuários com possibilidade de adequar seus consumos à nova tarifa cresceu em termos medianos em 16,5%, enquanto que 70% dos usuários mais pobres tiveram as contas aumentadas em 31,5%.

Finalmente a estrutura tarifária vigente falha no objetivo de exercer o papel de instrumento econômico na gestão da demanda ao fixar um volume mínimo muito alto e valores para os metros cúbicos adicionais, consumidos acima do volume mínimo, relativamente baixos. Isso resulta em desestimulo às atitudes de conservação da água na medida em que não se vislumbra o retorno econômico pleno como contrapartida. O que se observa nesse caso é semelhante ao que ocorre com outras medidas de gestão da demanda, como o aproveitamento de fontes alternativas de água ou a substituição do vaso sanitário. O resultado econômico da medida estaria limitado pelo volume mínimo consumido.

Constata-se assim a necessidade de rever a estrutura tarifária existente visando adequá-la apara o atendimento aos três objetivos citados acima. Conforme Dwaf (1999), citado por Vairavamoorthy & Mansoor (2006), a idéia por trás da estrutura tarifária em blocos incrementais pode ser assim descrita:

- O primeiro bloco deve cobrir as necessidades básicas do usuário, 50 l/hab.dia por exemplo, e cobrada a um valor simbólico.
- O segundo bloco seria definido pelo consumo normal de uma determinada área. Por exemplo, na Bahia esse valor seria de 120 l/hab.dia. A tarifa nesse bloco seria para a recuperação plena dos custos, incluindo a depreciação.
- O terceiro bloco seria definido como pelo consumo de luxo, acima do consumo normal e em seu preço se levaria em conta a disponibilidade de manancial e a possibilidade de seca, incorporando o custo incremental para aumento da capacidade do sistema.

6.9 Fontes alternativas de água com menor impacto ambiental: captação direta de água de chuva e de aquíferos locais

A água de chuva é normalmente indicada para consumo direto em usos não potáveis. A rigor uso potável refere-se exclusivamente à água de bebida. Entretanto a indicação para os usos de água de chuva têm se limitado a água de serviço e descarga de vasos sanitários. De forma menos frequente encontram-se indicações para uso na lavagem de roupa. Na Austrália, onde a utilização de água de chuva atinge percentuais expressivos da população, inclusive como única fonte, foi feito um estudo epidemiológico no qual se comparou a incidência de doenças diarreicas em crianças que recebiam apenas água de chuva com crianças que recebiam apenas água do sistema público. Não se encontrou diferença entre eles, o que sugere que o uso de água de chuva pode ser mais diversificado no ambiente doméstico. Experiências em andamento no semi-árido

nordestino apontam também para a viabilidade do uso seguro de água de chuva como única fonte. Não obstante sua utilização necessita de estudos acerca da viabilidade e eficiência no atendimento das demandas a que será destinada, avaliação dos possíveis riscos sanitários, adequação das instalações hidráulicas prediais, dimensionamento do sistema de captação, coleta e reservação observando as características locais.

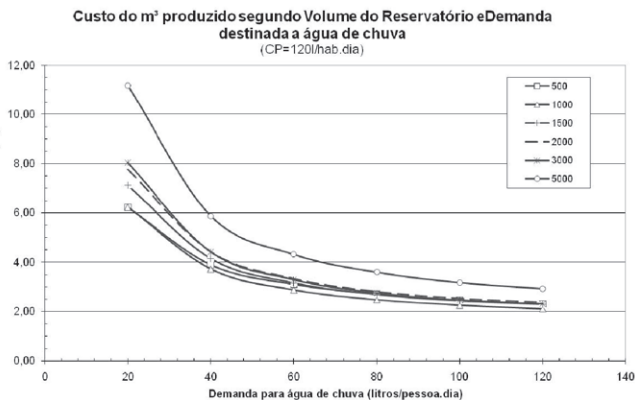
Um estudo[16] do custo do metro cúbico de água de chuva para as condições de Salvador, Bahia, mostrou que existe uma redução deste com o aumento da parcela do uso doméstico atendido através dessa fonte. Mostrou também que o reservatório de 1000 litros é o que proporciona o menor custo, independentemente da demanda para a água de chuva (COHIM & GARCIA, 2009). Para reservatórios entre 500 e 3000 litros o custo do metro cúbico produzido pelo aproveitamento de água de chuva é competitivo para demandas a partir de 40 litros por pessoa por dia (em uma casa com quatro pessoas) (figura 6.14). Deve-se destacar que na comparação não foram considerados os fortes subsídios presentes na composição do valor da tarifa de água.

FONTE: COHIM & GARCIA (2009)

Figura 6.14 Custo da água de chuva captada diretamente em Salvador, Bahia

Alem de ter custo competitivo em muitas localidades, a água de chuva captada diretamente do telhado tem uma intensidade energética muito inferior à água do sistema público. A água produzida pela concessionária estadual de saneamento da Bahia, por exemplo, tem uma intensidade energética de 0,82 kWh/m^3 (BRASIL, 2007). Se considerarmos uma perda (água não contabilizada) de 40%, o teor energético da água seria de 1,4 kWh por m^{3,} efetivamente entregue ao consumidor. Para o aproveitamento de água de chuva com reservatório enterrado (cisterna) esse indicador seria da ordem de 0,05 kWh/m^3 e zero para o caso do reservatório elevado, aproveitando a energia potencial

disponível na água de chuva.

Muitas áreas urbanas se localizam sobre aquíferos adequados ao consumo, sendo essa uma fonte importante para o atendimento de usos não potáveis, domésticos ou comerciais, como, de fato, ocorre em diversos lugares. A qualidade da água subterrânea varia de um lugar para outro podendo, eventualmente, ser inadequada ao consumo domestico, no caso de intrusão de água do mar e de contaminação por atividades humanas com nitrato, microrganismos ou substâncias tóxicas. A água pode ser extraída por bomba, passando em seguida por um filtro para retenção de sedimentos, antes de ser utilizada em descarga de vasos sanitários, limpeza em geral, irrigação de áreas verdes, etc. Assim como os efeitos positivos, o uso da água subterrânea pode acarretar alguns efeitos adversos como, por exemplo, a superexploração que resulta em subsidência ou intrusão de água do mar. Assim a definição para escolha desse uso deve ser acompanhada por especialista. Além disso a captação está sujeita à outorga que deve ser solicitada às autoridades gestoras dos recursos hídricos.

6.10 Segregação de correntes visando ao máximo reúso

Diversos pesquisadores sugerem que sistemas de uso da água em circuitos fechados devem ser considerados visando àa melhoria ambiental do saneamento, o que implica no uso de efluentes com menor contaminação para o atendimento de usos menos nobres. Devido à necessidade de desenvolver mecanismos de garantia da qualidade mínima e de facilidades de operação e manutenção para estas alternativas, elas devem ser vistas, inicialmente, como fonte para usos não potáveis.

Uma barreira importante para o aproveitamento de fontes alternativas de água é o modelo atual de distribuição de água e afastamento de efluentes prediais. Ao considerar um único padrão de qualidade para todos os usos, o padrão de água potável, os sistemas prediais dispõem de redes únicas para sua distribuição e afastamento. Para maximizar o aproveitamento da água tanto em nível intrapredial como coletivo é preciso reconhecer que é ao nível do lote individual que se estabelece a ligação entre os três componentes do ciclo urbano das águas: água de abastecimento do sistema público, esgotos pluviais e esgotos sanitários. Conforme já comentado, a busca da sustentabilidade começa com a redução do primeiro componente (água de abastecimento). A água de chuva no interior do lote ainda tem qualidade para diversos usos não potáveis. Já os esgotos sanitários precisam ser decompostos em suas diversas correntes para que, após tratamento, se possam definir os melhores usos para cada uma delas.

A coleta em separado, o tratamento e o uso das diversas correntes oferecem novas possibilidades para soluções mais específicas e eficientes do ponto de vista econômico e

ambiental, tendo em vista que as frações diferentes têm diferentes características e podem ser tratadas de acordo com as exigências do reúso específico. As características das principais correntes que compõem o esgoto sanitário são apresentadas no quadro 6.1.

Quadro 6.1 > Características das correntes do esgoto sanitário

FRAÇÃO	CARACTERÍSTICA
1. Fezes	• crítico do ponto de vista higiênico • melhora a qualidade do solo e aumenta sua retenção de água • produção media de 50 kg.pessoa.ano • consiste principalmente de material orgânico submetido a processos de decomposição e pequenas porções de nutrientes
2. Urina	• não crítica do ponto de vista higiênico • contem as maiores proporções de nutrientes disponíveis para as plantas. • pode conter hormônios e resíduos de remédios. • produção media de 500 L.pessoa.ano. • consiste principalmente de nutrientes e muito pouca matéria orgânica, não sendo necessário passar por processo de estabilização.
3. Água cinza	• não apresenta maiores preocupações do ponto de vista higiênico. • volumetricamente, a maior porção do esgoto. • quase não contem nutrientes, podendo passar por tratamento simplificado. • pode conter sabão em pó. • produção media de 25–100 mil Litros.pessoa.ano.

FONTE: WERNER *ET AL.* (2003)

A água cinza, por ter menor teor de nutrientes, fácil degradabilidade, média concentração de organismos patogênicos e grande volume deve ser coletada e tratada separadamente visando sua reinserção no ciclo da água. Isso tem uma dupla vantagem. Primeiro evitando o contato dessa corrente com as fezes, é possível simplificar o tratamento para adequá-la a usos menos exigentes em termos de qualidade, como serviço, descarga de vasos sanitários e lavagem de roupa. A segunda vantagem é que, sendo essa corrente a de maior volume, sua separação reduz substancialmente a diluição de fezes e urina favorecendo o melhor aproveitamento dos principais componentes dessas duas correntes: energia e nutrientes.

Para facilitar a tarefa de conservação dos recursos hídricos, é preciso que se usem águas com qualidade compatível com o fim a que se destina. A técnica da avaliação quantitativa de risco microbiológico tem aportado contribuições significativas nesse sentido.

Usando esta técnica, Cohim (2008) avaliou o risco de doenças diarreicas para o uso de uma água com concentração mediana de rotavirus de 10^{-1} organismos por litro. O

trabalho evidencia e quantifica a existência de uma hierarquia de qualidade para os diversos usos domésticos, sendo a qualidade de água de bebida o nível mais exigente e a de água para serviços gerais, o de menor exigência de qualidade, conforme seria de se esperar. Mas é importante destacar que usos como banho e higiene pessoal não requerem qualidade potável, podendo, para as condições simuladas, aceitar uma qualidade 500 vezes inferior à de água para beber. Outros autores têm abordado este assunto apresentando estudos de caso relacionados ao uso de água de chuva e águas cinza, entre outras. Fewtrel & Kay (2008) mostram, por exemplo, que o principal risco associado ao uso de águas de chuva captadas no próprio telhado em residências no Reino Unido, para descargas em vasos sanitários e irrigação de jardins, se refere a possibilidade de acidentes durante a limpeza das calhas de coleta da água de chuva. Os riscos associados à ocorrência de doenças infecciosas relacionadas com esses usos são sensivelmente inferiores ao anteriormente citado. Assim os autores recomendam que, na implementação de programas de captação direta de água de chuva, sejam considerados esquemas de manutenção a serem prestados por profissionais e firmas devidamente habilitados.

A rigor a segregação de correntes se define entre os dois extremos. Num destes a coleta em separado de todo e qualquer efluente e o uso de águas de diversas qualidades, cada uma dessas adequada ao uso que lhe será dado e não melhor do que ele requer. No outro extremo, o de usar uma única qualidade de água, a que atende ao padrão mais exigente, e coletar todos os efluentes numa corrente única, normalmente para descarte.

Na primeira opção procura-se otimizar o uso da água, minimizando-se os tratamentos necessários para a adequação das correntes à qualidade estritamente necessária para o uso a que se destina. Esta aproximação para o problema se encontra bastante desenvolvida nas metodologias utilizadas para minimização do uso de água no interior de plantas industriais em que o número de processos que demandam água e produzem efluentes, das mais diversas características, é bem maior as encontradas nas instalações prediais.

As metodologias propostas para a minimização de água no meio industrial usam o conceito das Redes de Transferência de Massa (*Mass Exchange Networks* - MEN), desenvolvidas das denominadas Redes de Transferência de Calor ou *Heat Exchange Networks* (HEN). Como exemplos dessas metodologias podem ser citadas as propostas por autores como El-Halwagi e Manosiuthakis (1989, 1990) entre outros, no fim da década de 1980 , mais recentemente (EL-HALWAGI, 1997). Esses autores usaram algoritmos de programação não linear (NLP) e não linear inteiras mistas (MINLP). Outros autores como Linhoff (1993) & Linhoff e Smith (1998) desenvolveram, inicialmente, o método Pinch para a solução de redes de transferência de calor, e posteriormente, o Pinch massa para a otimização de redes de correntes aquosas. Autores como Sharratt & Kiperstok(1996) e Kiperstok & Sharratt (1996, 1997a, 1997b, 1997c) expandiram o uso desses instrumen-

tos, desenvolvendo algoritmos para a otimização simultânea de redes de transferência de massa, dentro de instalações industriais e estações de tratamento de efluentes, levando em consideração a capacidade depuradora dos corpos receptores.

A aplicação desses métodos permite o esclarecimento das vantagens associadas à utilização de efluentes com características de qualidade não superiores às requeridas pelos processos onde elas serão aproveitadas.

Por outro lado a mistura de todas as correntes responde à demanda do menor número de canalizações e a da concentração dos efluentes num único ponto de tratamento antes do seu descarte num corpo receptor. A denominada solução *end of pipe* (fim de tubo). Entre o maior aproveitamento da água e o menor gasto energético com o tratamento e a facilidade da mistura de todas as correntes com menor número de tubulações, apresentam-se opções intermediárias. Opções estas que levam em consideração a complexidade de se instalar e gerir sistemas com um número grande de tubulações e a dificuldade de se quebrar a inércia tecnológica vigente, associada a uma realidade em que a água ainda é um recurso barato em muitas regiões.

6.11 Soluções sem veiculação hídrica: a retirada da água como transportador de dejetos

As soluções de remoção dos dejetos humanos das habitações, sem uso de água, são fortemente defendidas nas propostas de saneamento ecológico. Por um lado o uso de água nas descargas sanitárias, a depender das práticas locais e da tecnologia utilizada nos aparelhos sanitários, podem representar entre 5% e 30% (o limite superior é mais freqüentemente citado na literatura) do consumo domiciliar (GONCALVES, 2006), para o que se utiliza, atualmente, água potável. A maior parte desse volume é despendida no afastamento da urina. Segundo Vyckers (2002), a frequência média de uso do vaso sanitário é de cinco vezes por pessoa em um dia, sendo quatro para urinar e uma para defecar. Gasta-se um rico recurso como água potável apenas para transportar os nossos dejetos ao mesmo tempo em que diluem-se os dejetos dificultando seu aproveitamento como fonte de nutrientes.

É evidente o conforto gerado pela adoção dos vasos sanitários e sua incorporação à cultura das pessoas no mundo inteiro, sobretudo no ocidente. Otterpohl e colaboradores (s.d.) citam uma pesquisa de opinião realizada no Reino Unido em 1997 na qual os vasos sanitários com descarga foram considerados o invento mais importante já feito pelo ser humano, à frente do computador (2º lugar) e da roda (5º lugar). Mas nem sempre houve essa unanimidade em torno do vaso sanitário com descarga hídrica. Ele foi proibido até a década de 1890 em Milão (HAMLIN, 1980) e de 1910 na Finlândia (LAAKKONEN & LEHTONEN, 1999). Em ambos os casos, a proibição visava à preserva-

ção das características dos dejetos para uso na agricultura.

Assim a adoção de soluções secas pode encontrar resistências que devem ser bem entendidas e superadas com alternativas robustas e gradativas. O uso de aparelhos que requeiram menor quantidade de água apresenta a vantagem de favorecer o tratamento anaeróbio no local, viabilizando o aproveitamento do biogás. A eliminação ou minimização do uso de água no afastamento da urina se apresenta como um passo inicial em prol da sustentabilidade ambiental do setor saneamento. Primeiro porque representa um dos usos mais consumidores de águase considerarmos a utilização dos vasos sanitários convencionais para tanto. Segundo porque a urina concentra a maioria dos nutrientes expelida por uma pessoa, associada a uma carga patogênica quase nula (OTHERPPOL *et al.*, 2003).

Além disso, em certa medida, a segregação da urina das fezes já acontece com o uso de mictórios masculinos, os quais podem ser regulados para um baixíssimo consumo de água. Falta o passo seguinte que seria a destinação a um depósito para posterior transporte e uso como fertilizante. O uso de mictórios sem descarga hídrica vem crescendo. Aos mictórios secos inicialmente colocados no mercado, com selos a base de óleos citrosos, consideravelmente mais caros que os mictórios convencionais, vêm se agregando novos dispositivos com custos mais acessíveis. Infelizmente ainda não produzidos no nosso país. Contudo, mictórios convencionais equipados com válvula de descarga podem trabalhar com 250 ml por descarga.

Um desenvolvimento mais recente com uma grande penetração no mercado do norte da Europa é o vaso segregador que utiliza até 200 mL por fluxo para afastar a urina (figura 6.15).

Figura 6.15 Vaso sanitário segregador de urina

Na vida urbana naturalmente ocorre uma segregação de funções sanitárias. No trabalho ou em outras atividades que se desenvolvem em prédios públicos as pessoas tendem a usar o banheiro mais para urinar do que para defecar. Em pesquisas de opinião em andamento na UFBA os entrevistados responderam que, em 90% dos casos, usam os sanitários para urinar e, em apenas 10%, para defecar. Contudo a incidência de uso do vaso sanitário é muito alta, evidenciando o fato que muitos usuários preferem o uso do vaso sanitário para urinar, gerando altos desperdícios de água. Um melhor *design* dos banheiros poderia reduzir este desperdício. A falta de alternativas ergometri-

camente projetadas obriga as mulheres a usar o vaso para urinar, representando um desperdício maior àquele praticado pela população masculina. O desenvolvimento, os testes e os aprimoramentos de mictórios femininos poderiam trazer grandes avanços na redução do consumo de água em prédios públicos.

Werner *et al.* (2003), do órgão alemão GTZ, apresentam, na figura 6.15, as rotas sugeridas para as correntes de efluentes domiciliares visando seu aproveitamento. Cada uma destas rotas e suas diversas etapas merecem maiores estudos para serem melhor dominadas na realidade brasileira.

6.12 Energia no setor saneamento

Contrariamente ao que se afirma, o limite para o uso da água doce em nível planetário pode não ser a capacidade do planeta e da sociedade de promover a sua renovação nos ciclos hídricos, antrópicos ou naturais, sejam estes locais regionais ou globais, mas o gasto energético necessário para tanto e o impacto causado pela energia despendida. Na medida em que a água de qualidade adequada para o consumo se torna mais escassa, mais energia é necessária para o atendimento das demandas da sociedade e dos ecossistemas. O exemplo de países que levaram a níveis extremos a exploração do seu ciclo hídrico levanta o alarme do impacto energético que isto pode causar. Afinal os avanços nos processos de dessalinização da água do mar apontam para limites energéticos e econômicos e não hídricos, para a denominada "crise da água".

Tambo (2005, 2006) indica que o conteúdo energético médio da água consumida em Tóquio (transporte e tratamento) é de 0,38 kWh por metro cúbico. Para o transporte e tratamento do esgoto são utilizados 0,44 kWh.m^3 adicionais. Conforme apresentado no Capítulo 4, no Brasil as empresas estaduais de saneamento praticam um consumo específico de energia elétrica nos sistemas de distribuição de água entre 0,33 kW.h.m^3 e 1,24 kW-h.m^3. Isso sem se considerar os altos níveis de perdas. Dados recentemente adquiridos em e viagem de estudos a Israel permitem considerar que naquele país o conteúdo energético da água distribuída para os diversos usos se situa entre 1,3 kWh/m^3 e 2,5 kWh/m^3. O consumo da maior unidade de dessalinização de água do mundo (Ashkelon, Israel) é de 3,6 kWh/m^3. Tambo (2005, 2006) cita que estes últimos valores chegam ate 5 kWh/m^3.

Os valores acima citados permitem uma primeira aproximação do impacto da degradação da qualidade da água e do desperdício. Consumindo em torno de seis vezes a média atual da energia contida por metro cúbico (apenas para o tratamento), a dessalinização pode representar uma alternativa para regiões com mananciais muito distantes ou profundos, mas não uma alternativa global. Esta, considerada uma opção

de adaptação de algumas regiões ao efeito das mudanças climáticas, poderá se tornar um fator de agravamento deste fenômeno.

Considerando a premência de se adotar práticas de maior racionalidade energética, frente à iminência do fenômeno das mudanças climáticas, instituições como a Agência Internacional de Energia (IEA) da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OECD) alerta para a necessidade de se realizar uma mudança e aplicar tecnologias "**sem precedentes em todos os aspectos da produção de energia e no seu uso**". (OECD/IEA, 2008).

A seguir apresentam-se dois aspectos relacionados com o conteúdo energético perdido nos dos esgotos domésticos.

Uma aproximação ao conteúdo energético dos esgotos domésticos.

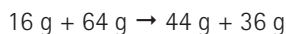
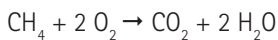
O valor negativo que se dá aos dejetos humanos na cultura ocidental dificulta enxergar os recursos que destes podem ser recuperados. Poucas vezes paramos para pensar na quantidade de energia que pode ser produzida a partir dos esgotos domésticos. As seguir apresenta-se uma estimativa do aproveitamento energético que pode ser obtido destes considerando dois aspectos principais: a) a capacidade de se obter biogás e, b) o conteúdo de nitrogênio disponível na urina humana.

> **a)** O conteúdo orgânico do esgoto doméstico, se degradado em condições anaeróbicas, libera biogás rico em metano, que é um combustível com alto conteúdo energético.

A produção de metano pode ser estimada da redução da DQO do esgoto num reator anaeróbio. Chernicharo (2007) apresenta o seguinte raciocínio:

"Outra forma de se avaliar a produção de metano é a partir da estimativa de degradação de DQO no reator, de acordo com a equação a seguir":

$CH_4 + 2\ O_2 \rightarrow CO_2 + 2\ H_2O$

$16\ g + 64\ g \rightarrow 44\ g + 36\ g$

Isto é, "cada 16 g de CH_4, produzidos e retirados da fase líquida, correspondem a uma remoção de 64 g de DQO".

Considerando uma eficiência de redução de DQO de 67%, num reator anaeróbio tratando esgoto doméstico com 600 mg.L de DQO, e produzindo um efluente com 200 mgL, de cada litro de esgoto são removidos 0,4 g de DQO. No caso se considera uma eficiência de 100% na redução da DQO (redução teórica máxima) não havendo redução de sulfato.

Considerando a relação CH_4 / DQO acima citada, pode-se dizer que essa redução de 0,4 g de DQO corresponde a uma retirada de 0,1 g de CH_4. Logo, num tratamento anaeróbio convencional, pode-se retirar 0,1 g de CH_4 de cada litro de esgoto.

Uma produção diária de 120 L de esgoto por pessoa corresponderia a uma geração de 12 g de CH_4

Alternativamente, se uma pessoa produz 110 g de DQO por dia[17], e destes são retirados 67%, tem-se que 73,7 g de DQO são removidos na produção de 73,7 /4 = 18,4 g de CH_4. (este cálculo considera uma produção p/c de esgotos de 180 L.d)

A energia liberada na combustão completa do metano produzido é de 889,5 KJ por mol, ou seja, 889,5/16 =55,6 kJ.g

Dessa forma o metano produzido na digestão anaeróbia do esgoto doméstico, permitiria gerar 667,2 kJ de energia por pessoa.dia, o que equivale a 185,3 wh.pessoa.dia (considerando 100% de aproveitamento energético na combustão do mesmo). Isso corresponde a uma produção anual de 66,8 kWh.

> **a)** Um valor energético que normalmente passa despercebido e, portanto, perdido nos sistemas de saneamento, se refere ao conteúdo de nutrientes nele disponível e não aproveitado. O nitrogênio contido na urina produzido por uma pessoa durante um ano quase equivale à quantidade desse elemento necessária para se produzir 230 quilos de cereais (DRANGERT, 1998).

No ciclo antropogênico, o nitrogênio dos esgotos é lançado nos corpos receptores, onde provoca eutrofização ou passa por um processo de remoção em que consome elevadas quantidades de energia. A produção de fertilizantes nitrogenados, necessária para reposição do que foi extraído do solo, é feita do nitrogênio molecular atmosférico pelo processo Haber-Bosch (que deu o Premio Nobel de química em 1918 a Fritz Haber), e também demanda quantidades elevadas de energia. Deve se observar que a introdução desse processo catalítico permitiu uma considerável redução dos gastos energéticos comparando-se com os processos anteriormente utilizados.

Atualmente a síntese de amônia usualmente produzida pela indústria petroquímica para a fabricação de uréia utilizada como insumo agrícola, consome algo em torno de 13,3 kW.h por kg de nitrogênio (OECD/IEA, 2008).

Se considerarmos que uma pessoa produz 500 litros de urina por ano e que esta quantidade de urina contem em torno de 5,6 kg de nitrogênio (DRANGERT, 1998), pode-se afirmar que, caso seja possível o seu total aproveitamento, seriam economizados (5,6kg x 13,3 kWh.kg) 74,5 kWh.ano de energia por pessoa.

Isto quer dizer que, se ao conteúdo energético utilizado para se produzir uma quantidade de nitrogênio equivalente ao presente na urina expelida por uma pessoa, (74,5 kWh.ano) fosse adicionada a energia que poderia ser teoricamente aproveitada da digestão anaeróbia dos esgotos por ela produzida (66,8 kWh.ano), se obteria 141,3,kWh. ano por pessoa.

Os sistemas de abastecimento de água na Bahia consomem em torno de 0,82 kWh por m³ de água produzido. Uma pessoa consumindo 150 L.d de água consome 55 m^3 .ano, nos quais a concessionária de saneamento precisa inserir 45 kWh para levá-los até os usuários.

Observe-se então que a energia associada ao nitrogênio presente na urina adicionada à carga carbonácea dos esgotos de uma pessoa, representa mais de três vezes a energia despendida para abastecê-la com água potável. Mesmo considerando que esses valores não incorporam as ineficiências cabíveis para a operação dos sistemas necessários para o aproveitamento desta energia, os números apresentados podem ser considerados expressivos.

6.13 O ciclo dos nutrientes e o saneamento[18]

Conforme já mencionado, a sustentabilidade não é possível sem que haja a operação dos recursos segundo ciclos fechados. Por isso, para o saneamento sustentável, é fundamental o fechamento do ciclo dos nutrientes de forma controlada, ambiental e sanitariamente adequada, o que depende de uma correta segregação, armazenamento, tratamento e aplicação das excretas. Todos esses aspectos vêm sendo estudados em nível internacional e nacional. Os trabalhos desenvolvidos na rede do Prosab têm permitido melhor compreensão dos diversos aspectos associados ao uso agrícola dos dejetos humanos.

A produção de 230 kg de cereais requer 7,5 kg de NPK; isso praticamente se iguala ao conteúdo da urina em termos desses elementos, o que Drangert (1998) chamou de equação das excretas. Mais de 90% desses nutrientes são encontrados na urina (tabela 6.2).

Tabela 6.2 >

NUTRIENTE	URINA (500 L./ANO)	FEZES (50 L.ANO)	TOTAL	REQUERIDO PARA 230 KG DE CEREAIS
Nitrogênio	5,6	0,09	5,7	5,6
Fósforo	0,4	0,19	0,6	0,7
Potássio	1,0	0,17	1,2	1,2
Total N + P + K	7,0 kg (94%)	0,45 kg (6%)	7,5 kg (100%)	7,5 kg

FONTE: DRANGERT, 1998

No ambiente natural o nitrogênio é usado de forma cíclica, sendo submetido a uma série de conversões de seu estado mineral a proteína vegetal, além de animal, encerrando esse ciclo como matéria orgânica morta, a qual novamente é mineralizada, dando início a um novo ciclo, num tempo médio de retenção na biosfera de mais de quatro mil anos (VAN DER VLEUTEN-BALKEMA, 2003). No ciclo antropogênico o nitrogênio dos esgotos é lançado nos corpos receptores, onde provoca eutrofização ou passa por um processo de remoção em que consome elevadas quantidades de energia. A produção de fertilizantes nitrogenados, necessária para reposição do que foi extraído do solo, é feita do nitrogênio molecular atmosférico, e também demanda quantidades elevadas de energia, conforme citado no item anterior.

O fósforo é um recurso limitado, não ocorre na forma gasosa, exceto em alguns compostos artificiais. Consequentemente seu transporte não pode ser feito pelo movimento do ar, mas apenas no estado líquido ou sólido, o que ocorre de forma muito mais lenta, resultando em uma distribuição desigual (GÜNTHER, 2002). Segundo esse autor, enquanto outros elementos estão presentes no corpo humano em concentrações muito inferiores às que ocorrem na crosta terrestre, o fósforo se concentra em uma proporção dez vezes superior nos tecidos animal e vegetal, em moléculas estratégicas para as funções biológicas como ATP e DNA. A falta desse nutriente limita a capacidade dos organismos utilizarem outros recursos, tais como energia solar e água, ainda que estes existam em profusão. Nos solos agrícolas a reposição do fósforo ocorre mediante a exploração de reservas fósseis e, se mantida a taxa de utilização atual, estima-se que as referidas reservas devem durar de 60 a 130 anos (VAN DER VLEUTEN-BALKEMA, 2003; GÜNTHER, 2002).

A urina é responsável por cerca de 80% do nitrogênio dos esgotos e por cerca de apenas 0,7% de seu volume (DRANGERT, 1998; OTTERPOHL, 2003). Quanto ao fósforo, as principais fontes no esgoto doméstico são: urina, fezes e detergentes (VAN DER VLEUTEN-BALKEMA, 2003; OTTERPOHL, 2003). Os nutrientes, transformados em resíduos, devem ser reconvertidos em recurso para o fechamento do ciclo.

Os nutrientes obtidos das excretas humanas não têm que ser usados necessariamente na agricultura tradicional. Como o índice de urbanização aumenta cada vez mais, e os sistemas de saneamento são construídos para atender às demandas das áreas urbanas, as possibilidades de utilização das excretas humanas se ampliam à medida que a proposta da agricultura urbana se expande. O suprimento de alimentos é um aspecto fundamental na composição da pegada ecológica das cidades, o que requer vastas áreas e depende de significativas quantidades de alimento que são trazidas de fora. Londres, por exemplo, tem 12% da população britânica, mas requer o equivalente a 40% de suas terras para produção de alimento (DEELSTRA & GIRARDET, 2000).

A agricultura urbana tem um importante papel a desempenhar quando se projeta a necessidade de sustentabilidade das cidades no futuro. Nesse sentido pode-se lidar com a problemática da gestão dos resíduos urbanos utilizando-os de forma produtiva, evitando a poluição das águas superficiais e subterrâneas e reinserindo o ciclo dos nutrientes no ciclo da produção de alimentos. Tais medidas, além dos resultados apresentados, contribuem para aumentar a segurança alimentar, reduzir a pobreza, gerar emprego e renda e gerenciar de forma mais eficiente os recursos hídricos (BAUMGARTNER & BELEVI, 2001; FORSTER *et al.*, [s.d.]; MOUGEOT, 2000).

Outra possibilidade de investimento na manutenção dos ciclos vitais envolvendo o ciclo dos nutrientes dá-se através da aquicultura, que consiste na produção de proteína vegetal e/ou animal a partir dos nutrientes dos esgotos. A hidroponia, ou cultivo sem solo, deve ser também apontado como outro meio de produção vegetal, a partir do esgoto tratado, que poderá ser utilizado como solução nutriente.

6.14 Aspectos culturais[19]

Ao questionar o que as pessoas esperam de um sistema de saneamento é possível se deparar com algumas questões: O que significa saneamento? O que o conceito de saneamento abrange? Será que esta é uma temática discutida nas comunidades? Rosenquist (2005) afirma que esse é um assunto sobre o qual as pessoas tendem a não falar, deliberadamente evitando-o. A autora, apoiada na teoria de Maslow, considera os elementos que motivam as pessoas para compreender a relação que elas estabelecem com o tema saneamento. De acordo com essa teoria, há uma pirâmide de necessidades. Na base da pirâmide estão as necessidades fisiológicas, seguidas da necessidade de segurança, necessidades pessoais (como saúde, por exemplo), necessidade de *status* e necessidade de autorrealização. Refletir sobre os aspectos psicossociais no saneamento e uso de água requer estabelecer alguns pontos que se relacionam com o que motiva as pessoas e os aspectos simbólicos a elas relacionados.

Excretar é uma necessidade fisiológica inerente aos seres vivos. Angyal (1941), citado por Curtis e colaboradores (1999), afirma que fezes são objetos universais e primários que motivam o nojo. Porém, por sermos seres humanos e construirmos cultura, devemos observar a diversidade de formas como respondemos a essa necessidade. É preciso considerar os constructos culturais voltados a essa questão, bem como as diferenças de gênero, idade, história de vida, formação educacional e outros fatores. As formas como as pessoas se comportam em grupo, se formam ou não uma comunidade propriamente e os saberes construídos nesta instância são igualmente relevantes.

A escolha de uma tecnologia em detrimento de outra por uma pessoa ou um grupo de pessoas não está relacionada exclusivamente ao conhecimento científico sobre as mesmas. As técnicas e tecnologias desenvolvidas por um povo visam à adaptação a um contexto, à satisfação de um conjunto complexo de necessidades. O modelo de saneamento tradicional foi escolhido num momento em que havia uma série de alternativas possíveis (HAMLIN, 1980) porque respondeu às necessidades das sociedades de então. Se ainda hoje está em vigor é por que ainda parece apropriada às comunidades em geral. É uma tarefa dos técnicos envolvidos na implantação de projetos de saneamento sustentável compreender quais são essas necessidades.

Porém como acessar esse tema? Ao longo dos dois últimos séculos a sociedade ocidental mudou no que tange ao controle do corpo e suas funções. O uso de equipamentos específicos para a excreção e normas relativas a este ato revelam esse fato. Na França, até meados do século 17, os reis costumavam despachar com seus súditos enquanto utilizavam as retretes, como um "trono". Havia ampla liberdade para que as pessoas exercessem suas funções corporais em público. A descortesia consistia em que se olhasse ou se dirigisse à pessoa nestes momentos (ANDRADE LIMA, 1996).

Na Europa Ocidental, ao longo do século 19, houve a necessidade de instauração de uma nova ordem que refletisse a mudança no poder da aristocracia para a burguesia. Surgiram novos valores e princípios fundados, basicamente, na disciplina e no controle como instrumentos de manipulação. Assuntos antes discutidos publicamente passaram a ser tratados com reservas (ANDRADE LIMA, 1996; VIGARELLO, 1996). Surgiu uma demanda por novas tecnologias que atendessem à nova ordem da sociedade. Ocorreu então uma grande campanha pelo aproveitamento do esgoto: em lugar de jogá-lo nos rios seria utilizado como fertilizante. Porém a falta de conhecimento sobre os processos de tratamento de matéria orgânica no solo pelos profissionais de então, associado ao desenvolvimento dos fertilizantes químicos e a incorporação de novas fronteiras agrícolas (facilitada pelo transporte mais rápido), promoveu o fracasso da adoção dessa estratégia (HAMLIN, 1980).

Novas mentalidades se difundem e se implantam quando há compatibilidade entre elas e a estrutura social e quando há uma demanda para que isso aconteça (CAMPOS, 1982 *apud* ANDRADE LIMA, 1996). A almejada invisibilidade das excretas e o fato de não haver mais necessidade em lidar diretamente com as mesmas foi promovida pelo uso dos vasos sanitários. Assim os aspectos culturais de uma comunidade são relevantes para a compreensão dos motivos que levam à rejeição ou aceitação das propostas do saneamento sustentável. Há duas razões específicas que respondem por que as dimensões humanas do uso da água são importantes: os impactos do uso da água nas vidas das pessoas; e o significado relativo e variável que estes impactos possuem entre indivíduos, comunidades, culturas e contexto (JEFFREY, 2000).

Contudo em grande parte das publicações científicas voltadas para o público leigo há a suposição de que existe uma solução nas técnicas das ciências naturais para os problemas da modernidade sem que haja mudança nos valores, idéias ou moral humanos (HARDIN, 1968). A escolha de determinadas tecnologias e a recusa de outras não se baseia em critérios puramente econômicos ou racionais, mas sim na compatibilização envolvendo crenças e interesses dos diversos grupos e setores estratégicos da atividade tecnológica (FEENBEG, 1999 *apud* ANDRADE, 2006). Como pontuam Maciel & Ritter (2005) as tecnologias em si não determinarão um desenvolvimento sustentável; o desenvolvimento que a sociedade almeja e coloca em prática condiciona a relação da mesma com as técnicas.

Estudos demonstraram que há aceitabilidade ao reúso da água como uma ferramenta do gerenciamento ambiental entre diversas populações (COHIM & COHIM, 2007; NANCARROW *et al.*, 2004). Entretanto a aceitação difundida do reúso da água na população não supõe que todos os projetos de reúso serão aceitos prontamente. A maior parte dos projetos bem sucedidos foi apenas para uso indireto de água. Projetos de reúso direto de água têm encontrado forte oposição das comunidades, com poucas exceções (NANCARROW *et al.*, 2004). Por esse motivo há uma crescente necessidade em incluir o público no processo decisório.

O planejamento técnico sobre o reúso da água não levava em conta a percepção da população sobre o problema (NANCARROW *et al.*, 2004). O estudo da percepção humana sobre o reúso se encontra no plano de análise sócio-cultural e se sustenta na idéia de incorporar a subjetividade e promover a avaliação segundo a perspectiva de quem usa o serviço, a partir de seus conceitos e suas vivências, de suas posturas e lógicas de vida, representando, portanto, uma perspectiva endógena. Este plano investiga a realidade invisível, constituindo uma pesquisa com enfoque qualitativo (BORJA, 1997).

Há somente vinte anos os investigadores começaram a prestar atenção nas percepções e aceitação pública sobre o tema. Os Estados Unidos foram pioneiros nestes estudos, mas o método utilizado por eles almejava apenas a estratégia necessária para aumentar a aceitação pública, e não entender os aspectos sócio-culturais e econômicos que impediam a aceitação desses projetos. A aceitação pública era entendida como o obstáculo principal para a execução de projetos reciclagem de água. Esta linha de pesquisa pretendia encontrar maneiras de persuadir a população, para que esta pudesse aceitar a água reciclada (NANCARROW *et al.*, 2004).

De forma geral, a revisão da literatura revela a existência de diferentes fatores que influenciam a aceitação a um esquema de reúso de água. Os mais recorrentes são a aversão em termos psicológicos (nojo); a percepção de risco associado com o uso da água reciclada; os usos específicos da água reciclada; as fontes da água reciclada; a

possibilidade de escolha quanto à tecnologia a ser adotada; a confiabilidade nas autoridades legais; as atitudes para com o meio ambiente; o envolvimento com a justiça ambiental; o custo da água reciclada, os fatores sócio-demográficos (HARTLEY, 2006; HIGGINS *et al.*, 2002; NANCARROW *et al,.* 2004). Hespanhol (1997) aponta que a utilização do reúso da água mais aceita em todo o mundo é na agricultura e na aquicultura. Observa-se também que o uso de esgotos é normalmente bem aceito onde outras fontes de água não são facilmente disponíveis.

Assim pode-se notar que quanto mais distante o contato com a água reciclada, maior a aceitabilidade ao uso (COHIM & COHIM, 2007; NANCARROW *et al.*, 2004). Malinowisk (2007) destaca uma pesquisa realizada na região sul da cidade de Tampa (Flórida, EUA) em que 84% dos usuários residenciais e 94% dos comerciais acreditam que a utilização da água de reúso é segura para irrigação de seus jardins. 84% do grupo residencial e 90% do comercial declararam-se atraídos por práticas de reúso da água. Em pesquisa realizada na cidade de São Francisco (Califórnia, EUA) foi demonstrado que a maioria dos entrevistados considera benéfica a utilização da água residuária. Os usos que obtiveram maior aceitabilidade foram a água para controle de incêndios, seguida da irrigação de parques e golfe, em terceira posição a limpeza de ruas, em quarto lugar reposição em bacias sanitárias e, finalmente, na quinta posição, o uso da água residuária com o intuito de redução do racionamento durante os períodos de secas.

Ramos (2007) assinala que a educação é fundamental para ajudar o público a superar o preconceito em relação à água que passou pelo sistema de esgoto. Segundo o autor é realmente importante que os dados de monitoração e qualidade da água estejam disponíveis para as pessoas analisarem e compararem com o que estão recebendo. Em Cingapura utiliza-se água reciclada como forma de reduzir a dependência da Malásia. Nessa localidade foram realizados dois anos de testes com a água reciclada em uma instalação de demonstração. Os resultados revelaram que ela é de alta qualidade e atende as diretrizes da Organização Mundial da Saúde. Cientistas e médicos demonstraram confiança ao beber a água reciclada na frente dos jornalistas (RAMOS, 2007).

Uma pesquisa realizada em Queensland, Austrália, mostra que o principal uso da água reciclada era a irrigação da terra. O estudo mostra ainda que, para usos futuros, inclui-se a irrigação de colheitas processadas, reúso doméstico, de supressão de poeira e de limpeza da rua. Alguns fornecedores (19%) indicaram que planejam fornecer a água reciclada para refrigeração industrial no futuro próximo. Entre os entrevistados, 52% dos fornecedores e 19% de usuários atuais pensam em expandir seu uso da água reciclada e 30% dos respondentes que não estão usando atualmente a água reciclada pensam em começar a fazê-lo durante os cinco anos seguintes. Estes resultados indicam que a disponibilidade ao uso da água reciclada está aumentando (HIGGINS *et al.*, 2002).

No Brasil detectam-se várias regiões com problemas de abastecimento; entretanto poucos são os exemplos práticos de reúso encontrados. A maioria dos casos de reúso no Brasil está na área industrial, impulsionada principalmente pela necessidade de redução de custos e atendimento aos padrões de lançamento de efluentes nos corpos hídricos superficiais, estabelecidos pela legislação vigente.

Po e colegas (2005) apontam que a confiança nos proponentes de projetos e em entidades que garantam a qualidade da água pode ser um fator de extrema importância na aceitabilidade a esquemas de reúso de água. Aspectos delicados como o nojo e a percepção de risco à saúde no uso de água reciclada, ou na ingestão de vegetais adubados com excretas humanas ou irrigados por águas de reúso, podem ser amenizados em função do grau de confiança que a população estabelece com a entidade proponente do projeto, bem como entidades oficiais responsáveis por garantir a qualidade do funcionamento dos mesmos.

O papel do conhecimento não deve ser subestimado. Porém a divulgação da informação esclarecida não deve ser vista como um fim em si mesmo. Ela deve estar presente numa relação de parceria com a comunidade no desenvolvimento de um esquema de reúso aceitável à mesma (PO *et al.*, 2005). Segundo Ornstein (1992), num plano ideal, qualquer cidadão deveria ter acesso às informações e resultados, fossem eles eficazes ou não, de uma dada avaliação que objetivasse, em princípio, melhorar a qualidade de vida. Mas, na prática, os resultados da avaliação acabam sempre direcionados para aqueles indivíduos ou grupos que apresentam interesses visíveis no programa, ou que têm poder de organização e controle maior que os demais. Na Austrália, Syme & Nancarrow (2002 *apud* MARKS, 2004) observaram que os atores estratégicos têm acesso diferenciado às informações sobre o processo; os usuários são os mais prejudicados, pois as informações a que eles têm acesso são insuficientes.

É preciso considerar ainda que as representações leigas, a respeito da perícia técnica em geral, mesclam atitudes de respeito com atitudes de hostilidade ou medo. Po e outros (2005) ressaltam que indivíduos com menor grau de escolaridade tendem a confiar menos nas autoridades. Atitudes de confiança ou de desconfiança face aos sistemas abstratos podem ser influenciadas por experiências de sucesso ou decepção com contatos pessoais entre leigos e perícia profissional. Para que mais pessoas passem a ter acesso ao saneamento, é preciso que, independentemente das tecnologias de saneamento que serão adotadas, estas sejam escolhidas em estreita colaboração com os usuários para que estejam de acordo com as necessidades dos mesmos. O saneamento ecológico precisa ser flexível para adaptar-se aos diferentes contextos sócio-culturais (NAWAB *et al.*, 2006).

6.15 Conclusão

A rota para a sustentabilidade ambiental do saneamento básico requer a ampliação da visão do setor e mudanças em alguns dos conceitos e práticas. Em muitos casos, porém, uma recolocação de prioridades e uma aplicação em larga escala de procedimentos e técnicas já dominadas podem ser suficientes. Isso tudo tem que acontecer sem se perder de vista que o principal objetivo do setor é promover a manutenção e melhoria das condições sanitárias da população, principalmente das mais vulnerável e menos favorecida.

As alternativas técnicas adotadas nos sistemas de saneamento, no processo de adaptação dos países ricos às mudanças climáticas, contribuirão para agravar o problema. Deslocamentos de água de distâncias maiores e dessalinização em larga escala são alguns dos fatores esperados.

O aumento da eficiência no uso da água e da eficiência energética a ele associado se constitui no primeiro passo, o mais rentável e efetivo. Isso deve ocorrer tanto na parte pública dos sistemas de produção e distribuição quanto nas dependências particulares, nos domicílios e nos prédios em geral. Para tanto um redirecionamento de prioridades da ação pública pode ser suficiente. O exemplo deve vir de cima, dos próprios sistemas de saneamento e dos prédios públicos. Contudo outras ações têm que ser agregadas a essas. Dever-se-á promover a descentralização das soluções de saneamento visando a menores encargos energéticos e um melhor fechamento dos ciclos da água e dos nutrientes. Isso deve ser conseguido sem aumento dos custos nem queda na qualidade dos serviços. Para tanto avanços em automação e controle, já aplicados em outros setores industriais, deverão se tornar mais familiares ao setor saneamento.

A constante renovação das redes de distribuição de água, aliada a medidas de controle de perdas mais eficientes deverão ganhar espaço no rol de prioridades das concessionárias. No âmbito predial, mudanças de comportamento e modernização de equipamentos requerem não apenas desenvolvimentos tecnológicos, mas também de sistemas tarifários que efetivamente promovam uma maior racionalidade no uso da água.

Novas fontes de água, comprometidas com menores encargos energéticos, tais com a captação direta de água de chuva e de aquíferos locais, requerem principalmente avanços legais e novos modos de operação descentralizada, associada a mecanismos de controle centralizados e tecnologicamente competentes. E necessário promover a segregação das correntes de água em função das suas características e usos para se ampliar as possibilidades de reúso e de substituição por novas fontes. Isto sim requer a implementação de novos padrões e nova infraestrutura. Num primeiro momento, antes de substituir instalações existentes, pode se começar entendendo que a cidade

do futuro começa neste momento a ser construída. A retirada gradativa da água como meio de transporte dos dejetos facilitará não apenas a redução do seu uso como o aproveitamento dos nutrientes.

O setor deverá se tornar mais consciente no uso da energia e não apenas em função da sua importância na composição atual dos seus custos. Isso será cobrado também pela participação do uso ineficiente da energia nas mudanças climáticas. Gradativamente a questões da "energia na água" como a "água na energia" ganharão destaque nas decisões do setor, do planejamento e projeto de sistemas de saneamento até sua operação e manutenção pública e predial. Uma percepção mais precisa no uso desses recursos exige mais e melhor instrumentação e medição. Tanto operadores quanto usuários terão de saber como a água é consumida.

Muito além da adaptação do setor ao novo cenário das mudanças climáticas, deverão ser promovidas medidas de mitigação que reduzam a parcela da pressão sobre este fenômeno provocado pelo saneamento. Isso só será possível caso seja aumentada drasticamente a eficiência no uso da água e energia e o aproveitamento dos nutrientes descartados através das excretas humanas. A recuperação do nitrogênio orgânico é fundamental em função da energia que deixa de ser gasta na produção industrial de fertilizantes nitrogenados. A recuperação do fósforo, em função da limitação dos estoques disponíveis.

Todas essas mudanças ensejam novos comportamentos de usuários, engenheiros, técnicos e pesquisadores. Estas não virão se a continuidade das ações de mudança comportamental continuar na linha de afirmações do tipo: "é apenas uma questão de educação", em geral aplicadas quando se refere a terceiros e não a cada um de nós.

Referências bibliográficas

ADIN, A. *et al.* Climb the ladder: a step by step approach to international guidelines for water recycling. *Water Science and Technology,* v. 43, n. 10. IWA Publishing: p. 1-8, 2001.

AISSE, M.M.; COHIM, E.; KIPERSTOK, A. Reúso urbano e industrial. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. (Coord.). *Tratamento e utilização de esgotos sanitários:* Projeto Prosab, Edital 4. Rio de Janeiro: Abes, v. 2, c. 4, p. 1-8, 2006.

ANDRADE LIMA, T. Humores e odores: ordem corporal e ordem social no Rio de Janeiro, século XIX. *História, Ciência, Saúde:* Manguinhos, v. 2, n. 3, p. 44-94, 1996.

ANDRADE, T. Inovação tecnológica e questão ambiental: dando um passo acima. In: *Diálogos em ambiente e sociedade no Brasil.* São Paulo: ANPPAS, Annablume, p. 171-191, 2006.

ARONSON, J. *et al.* Natural capital: The limiting factor. *Journal of Ecological engineering,* v. 28, n. 1, p. 1-5, nov 2006.

ASHLEY, R.; HOPKINSON, P. Sewer systems and performance indicators: into the 21st century. *Urban Water,* v. 4, p. 123–135, fev 2002.

ASSADOURIAN, E; PRUGH, T. What is sustainability anyway? *World Watch Magazine*. Washington: Worldwatch Institute, v. 16, n. 5, sep/oct 2003.

AYRES, R. U.; AYRES, L. W.; RADE, I. *The life cycle of copper, Its co-products and byproducts.* London: International Institute for Environment and Development. World Business Council for Sustainable Development, 2002. 210 p. (Mining, Minerals and Sustainable Development, n. 24). Disponível em: <http://www.natural-resources.org/minerals/CD/docs/mmsd/topics/ayres_lca_main.pdf >.

BALKEMA, A. J.; PREISIG H, A.; OTTERPOHL, R.; LAMBERT, F. J. D. Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment system. *Urban water,* n. 4, p. 153-161, fev 2002.

BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P.D. Normas e critérios de qualidade para reúso de água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. (Coord.) *Tratamento e utilização de esgotos sanitários:.* Projeto Prosab, Edital 4. v. 2, c. 2. Rio de Janeiro: Abes, 2006.

BATES, B.C.; KUNDZEWICZ, Z.W.; WU, S.; PALUTIKOF, J.P. (Eds.). *Climate change and water.* Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC Secretariat, 2008. 210 p. (IPPC Technical Paper, 6). Disponível em: < http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-change-water-en.pdf >.

BAUMGARTNER, B.; BELEVI, H. *A systematic overview of urban agriculture in developing countries.* Swiss Federal Institute for Environment Science e Technology. Dept. of Water e Sanitation in Developing Countries, sep 2001. Disponível em: <http://news.bbc.co.uk/go/pr/fr/-/2/hi/health/6275001.stm>. Acesso em: out 2007.

BELEVI, H.C. *et. al. Material flow analysis:* a planning tool for organic waste management in Kumasi, Ghana. Duebendorf: Sandec, 2000.

BJÖRKLUND, J. *et al.* Analysis of municipal wastewater treatment and generation of electricity y digestion of sewage sludge. *Resource Conservation and Recycling,* v. 31, p. 293-316, 2000.

BORJA, P. C. *Avaliação da qualidade ambiental urbana*: uma contribuição metodológica. 281 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1997.

BRASIL. Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. Decreto nº 6.263, de 21 de novembro de 2007. Institui o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (CIM), orienta a elaboração do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, e dá outras providências. Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). *Diário Oficial da União,* 22 nov 2007. Versão para consulta pública, set 2008.

BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Planejamento Econômico e Social. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). *Diagnóstico dos serviços de água e esgotos 200,* 2 v. Brasília: Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República (SEDU-PR), 2007,

_____. Ministério das Cidades. *Dimensionamento das necessidades de investimentos para a universalização dos serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgotos sanitários no Brasil.* Brasília: 2003.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios Princípios do tratamento biológico de águas residuária, v. 5. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Ambiental-UFMG, 2007.

CHERTOW M.R. The IPAT equation and its variants changing views of technology and environmental impact. *Journal of Industrial Ecology,* v. 4, n. 4, p. 13–29, 2001.

COHIM, E; GARCIA, A.P. *Análise econômica da utilização de água de chuva.* Trabalho submetido ao 25º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL a ser realizado em Recife em 2009.

_________. *Hierarquia da qualidade da água.* In: CONGRESO INTERAMERICANO AIDIS, 31. Santiago, Chile: *Anais...* Santiago, Chile, 2008

COHIM, E; COHIM, F. Reúso de água cinza: a percepção do usuário (estudo exploratório). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24. 2–7 de setembro de 2007, Belo Horizonte-MG. *Anais...* Belo Horizonte-MG: Abes, 2007.

COHIM, E.; COHIM, F. Reúso de água cinza: a percepção do usuário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24. 2-7 de setembro de 2007, Belo Horizonte-MG. *Anais...* Belo Horizonte-MG: Abes, 2007, II-166.

COHIM, E.; KIPERSTOK, *A. Sistemas de esgotamento sanitário:* conhecer o passado para moldar o futuro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24. 2-7 de setembro de 2007, Belo Horizonte-MG. *Anais...* Belo Horizonte-MG: Abes, II-163, 2007.

COHIM, E.; KIPERSTOK, A.; ALMEIDA, A.P.A*. Captação direta de água de chuva no meio urbano para usos não potáveis.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24. 2-7 de setembro de 2007, Belo Horizonte-MG. *Anais...* Belo Horizonte-MG: Abes, IV-052, 2007.

COHIM, E..; KIPERSTOK, A.; NASCIMENTO, F.R. *Uso agrícola da urina*: uma breve perspectiva. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL EM SANEAMENTO SUSTENTÁVEL: SEGURANÇA ALIMENTAR E HÍDRICA PARA A AMÉRICA LATINA, 25-28 nov 2007, Fortaleza-CE. *Anais...* Fortaleza-CE, 2007.

COHIM, E. *et al.* Do saneamento tradicional ao saneamento ecológico: a necessidade de construir uma dimensão sócio-cultural. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL EM SANEAMENTO SUSTENTÁVEL: SEGURANÇA ALIMENTAR E HÍDRICA PARA A AMÉRICA LATINA, 25-28 nov 2007, Fortaleza-CE. *Anais...* Fortaleza-CE, 2007.

CURTIS, V.; SINGH, S.; VONCKEN, N. Dirt and disgust: a darwinian perspective on hygiene. *Medische Antropologie,* v. 11, n. 1, 1999.

DECKER, E.H.; ELLIOTT *et al.* Energy and material flow through the urban ecosystem. *Annual Review Energy Environmen,.* 25, p. 685-740, 2000.

DEELSTRA, T.; GIRARDET, H. Urban agriculture and sustainable cities, growing cities. *Growing food:* urban agriculture on the policy agenda feldafing. Germany, [s.n.], c. 2, p. 43-66, 2000.

DEZELAR, J. T.; MAIER, W. Effects of water conservation on sanitary sewers and wastewater treatment plants. *Journal WPCF,* v. 52, n. 1, p. 76-88, 1980.

DRANGERT, J. Fighting the urine blindness to provide more sanitation options. *Water SA,* v. 24, n. 2, abr 1998.

EL-HALWAGI, M. M. *Pollution prevention through process integration:* systematic design tools. San Diego: Academic, 1997.

______.; MANOUSIOUTHAKIS, V. Automatic synthesis of mass exchange networks with single-component targets. *Chem. Eng. Sci*, v. 45, n. 9, p. 2813-2831, 1990.

______; MANOUSIOUTHAKIS, V. Synthesis of mass exchange networks. *AICHE Journal*, v. 35, n. 8, p. 1233-1244, 1989.

ESREY, S.A. *Towards a recycling society ecological sanitation:* closing the loop to food security. In: STOCKOLM WATER SYMPOSIUM, p.14-17, aug 2000.

ESREY, S.A. *et al.* Effects of improved water supply and sanitation on ascariasis, diarrhoea, dracunculiasis, hookwork infection, schistosomiasis and trachoma. *Bulletin of the World Health Organization*, v. 69, n. 5, p. 609–621,1991.

EXAME. *Revista Exame*. Editora Abril SA, 5/12/2007.

FANE, S.A.; ASHBOLT, N.; WHITE, S.B. *Decentralized urban water reuse*: the implications of system scale and pathogen risk. In: IWA WORLD CONGRESS. Oct15-18, Berlin, 2001.

FARLEY, J.; DALY, H. Natural capital: The limiting factor. A reply to Aronson, Blignaut, Milton and Clewell. *Journal of Ecological Engineering*. v. 28, p. 6-10, 2006.

FAVA, J.A. Life cycle initiative: A joint Unep/Setac partnership to advance the life-cycle economy. *Int J LCA,* v.7, n. 4, p. 196–198, 2002.

FEWTREL, L.; KAY D. *Health impact assessment for sustainable water management*. London: IWA publishing, 282 p. 2008.

FORSTER, D.; SCHERTENLEIB, R.; BELEVI, H. *Linking urban agriculture and environmental sanitation*. Duebendorf: Eawag/Sandec, [200-].

FRIEDRICH, E; PILLAY, S.; BUCKLEY, C.A. Carbon footprint analysis for increasing water supply and sanitation in South Africa: a case study. *Journal of Cleaner Production*, v. 17, p. 1-12, abr 2008.

FRIEDRICH, E. Life-cycle assessment as an environmental management tool in the production of potable water. *Water Science and Technology*, v. 46, n. 9, p. 29–36, 2002.

GEORGIEVA, K. *Preface of toward sustainable sanitation.* International Association of Impact Assessment, 2001.

GLEICK, P. H. Water in crises: paths to sustainable water use. *Ecological Applications,* v. 8, n. 3, p. 571-579, 1998.

________. Basic water requirements for human activities: meeting basic needs. *Water International,* v. 21, p. 83-92, 1996.

______. *Water in crisis:* a guide to the World's Fresh Water Resources. 473 p. New York: Oxford University Press, 1993.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. Disponível em: <http://www.footprintnetwork.org/> Acesso em: out 2008.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). *Uso racional da água em edificações*. ed. Rio de Janeiro: Prosab/Abes, 2006.

GONÇALVES, R. F; PINTO, M. T. Opções Tecnológicas do início do século XXI para tratamento de esgotos sanitários das grandes regiões metropolitanas brasileiras. In: IX SIMPÓSIO LUSO-

BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. *Anais eletrônicos*, 2000.

GONÇALVES, R. *et al*. The contemporary European copper cycle: The characterization of technological copper cycles. *Ecological Economics*, n. 42, p. 9-26, 2002.

GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B. R. *Industrial ecology and the automobile*. 243 p. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1998.

__________ *Industrial ecology*. 1ª ed. 412 p. New Jersey: Prentice-Hall, 1995.

GÜNTHER, F. Sustainability through local self-sufficiency. In: DOUTHWAITE, R. (Ed). *Before the wells run dry: Ireland's transition to renewable energy*. Feasta, 2002.

HAMLIN, C. Sewage: waste or resource? *Environment*, v. 22, n. 8, 1980.

HARDIN, G. The tragedy of the commons. *Science*, 162, 1968.

HARTLEY, Troy W. *Water reuse: understanding public perception and participation*. Alexandria-VA: Water Environment Research Foundation, 2003, WERF Report 00-PUM-1.

HERMANOWICZ, S. W.; ASANO, T. Abel Wolman's "The metabolism of cities" revisited: a case for water recycling and reuse. *Water Science and Technology*, v. 40, n. 4-5, 1999.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aqüíferos. In: MANCUSO P. C. S.; SANTOS, H. F. *Reúso de água*. Barueri-SP. Manole. p. 37–96, 2003.

________. Reúso integrado à gestão de recursos hídricos: bases para planejamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, 1997, Vitória-ES. *Anais*... Vitória-ES: ABRH, v. 2, p. 77-84, 1997.

HIGGINS, J. *et al*. Survey of users and providers of recycled water: quality concerns and directions for applied research. *Water Research*, v. 36, n. 20, p. 5045-5056, dez 2002.

HOEKSTRA, A.Y. & CHAPAGAIN,A.K. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resource Management*, v. 21, p. 35–48, 2007.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2007:* the physical science basis: summary for policymakers. Geneva: fev 2007, 18 p.

JEFFREY, Paul. The human dimensions of water use. *Water 21*. London: p. 11-13, oct 2000.

JENSSEN, P.; HEEB, J.;GNANAKAN,K.; CONRADIN, K. *Ecosan curriculum*. Presentation slide. Mexico: World Water Forum, 2006.

KENNEDY, C.; CUDDIHY, J.; ENGEL-YAN, J. The changing metabolism of cities. *Journal of Industrial Ecology*, v.11, n. 2. p. 43-59, 2007.

KIPERSTOK A. (Org.) *Prata da casa:* construindo produção limpa na Bahia. Salvador: [s.n.]. 446 p. Rede de Tecnologias Limpas-Teclim/Universidade Federal da Bahia-UFBA, 2008.

_______. *Notas de aulas da disciplina saneamento ambiental*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal da Bahia, 2007.

_______. (Org.). *Prevenção da Poluição*. (Programa Senai Educação a Distância. Tecnologias e Gestão Ambiental - TGA. 290 p. Brasília: Senai/DN, 2002.

KIPERSTOK, A.; SHARRATT, P. N. *Controle de poluição industrial usando programação matemática.*

In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1997, Foz de Iguaçu. *Anais...* Foz de Iguaçu, 1997a.

_______ Optimisation of pollution control operations in industrial sites considering decay capabilities of the receptors. *Computers Chem. Eng.,* n. 21, p. S977–S981, 1997b.

_______. Optimisation of the removal of bio-degradable pollutants in industrial mass exchange networks considering decay capabilities of the receptors. *ICHEME Research Event,* v.1, p. 169-171, 1997c.

_______; _______. Environmental considerations for the mathematical modeling of mass exchange networks. *ICHEME Research Event Leeds*, n. 2, p. 606-608, 1996.

LAAKKONEN, S. & LEHTONEN, P. A quantitative analysis of discharges into the Helsinki urban sea area in 1850-1995. *European Water Management,* v. 2, n. 4, 1999.

LIMA, A.M..F. *Avaliação do ciclo de vida no Brasil:* inserção e perspectivas. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

LIMA, A.M.F; CALDEIRA-PIRES, A.; KIPERSTOK, A. Evolução dos trabalhos de avaliação do ciclo de vida nas instituições acadêmicas brasileiras. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL CICLO DE VIDA (CILCA), 2 ,2007. São Paulo: *Anais...* São Paulo, 2007.

LIMA, A.M.F; KIPERSTOK, A. *Avaliação do Ciclo de Vida (ACV):* panorama mundial e perspectivas brasileiras. In: SIMPOSIO DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL DO CENTRO-OESTE, 1, 2006. Brasília: *Anais...* Brasília, 2006.

LINNHOFF, B. Pinch analysis, a state of the art overview. *Trans IChemE/A*, v. 71, p. 503-522, 1993.

LINNHOFF, B.; SMITH, R. The pinch principle. *Mechanical Engineering*, p. 70-73. feb 1988.

LUNDIN, M.; BENGTSSON, M.; MOLANDER, S. Life cycle assessment of wastewater systems: influence of system boundaries and scale on calculated environmental loads. *Environmental Science & technology,* v. 34, n. 1, p. 180-186, 2000.

LUNDQVIST, J.; *Fraiture, C.; Molden, D. Saving water:* from field to fork – curbing losses and wastage in the food chain. [s.l.]: SIWI Policy Brief, SIWI, 2008.

MACIEL,T.B.; RITTER, P. Desenvolvimento sustentável, diversidade e novas tecnologias: a relação com a ecologia social. *Revista Psico*, v. 36, n. 1, p. 81-87, jan/abr 2005.

MALINOWSKI, Adriana. *Aplicação de metodologia para a estruturação de diretrizes para o planejamento do reúso de água no meio urbano.* Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/5960/1/Disserta%E7%E3o+Adriana+Malinowski.pdf.> Acesso em: 5 jan 2007.

MARKS, J.S. *Negotiating change in urban water management*: attending to community trust in the process. Austrália: WSUD, 2004.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. *Ecosystems and human well-being: synthesis.* Washington-DC: Island Press, 2005, 137 p.

MOUGEOT, L. J. A. Urban agriculture: definition, presence, potentials and risks. Growing cities, growing food: urban agriculture on the policy agenda feldafing, Germany, [s.n.], 2000. c. 1, p. 1-42.

NANCARROW, B. E., KAERCHER, J., PO, M. *Literature review of factors influencing public perceptions of water reuse.* [s.l,, s.n.], 2004.

NAWAB, B., *et al. Cultural preferences in designing ecological sanitation systems in North West Frontier Province, Pakistan.* 2006. Disponível em: <http://www.umb.no/statisk/imt/ecosan/nawabculturalpref.pdf>. Acesso em: 11 jun 2007.

NIEMCZYNOWICZ, J. Mismanagement of water resources. *Vatten v.* 52, p. 299-304, 1996.

OECD/IEA, ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT / INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Energy technology perspectives, scenarios and strategies to 2050.* 650 p. Paris: 2008,

OLIVIER, A. *Water Tariff Increase In Manaus (Brazil):* An Evaluation Of The Impact On Households. Document de Travail DT/2006-10, Dèveloppment Institutions & Analyses de Long Terme, 2006

ORNSTEIN, S. *Avaliação pós-ocupação do ambiente construído.* São Paulo: Studio Nobel, Editora da Universidade de São Paulo, 1992.

OTTERPOHL, R.; BRAUN, U; OLDENBURG, M. Innovative technologies for decentralized water, wastewater and biowaste management in urban and peri-urban areas. *Water Science and Technology*, v. 48, n. 11-12, p. 23-32, 2003.

OTTERPOHL, R. *et al.* Differentiating management resource of water and waste in urban areas. Integrated bio-system in zero emissions applications, *Proceedings of the internet Conference on Integrated Bio-Systems*, [sd.]

PARIKH, J. *et al.* Padrões de consumo, a força propulsora do esgotamento ambiental. In: MAY, P.H.; SEROA DA MOTTA, R. (Eds.) *Valorando a natureza, análise econômica para o desenvolvimento sustentável.* 1st. ed., p. 1-10. Rio de Janeiro: Campus Ltda., 1994.

PHILIPPI, L. S.; OLIJNYK, D. P.; MAGRI, M. E. *Arranjos tecnológicos para o tratamento descentralizado de esgotos sanitários.* In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL EM SANEAMENTO SUSTENTÁVEL: SEGURANÇA ALIMENTAR E HÍDRICA PARA A AMÉRICA LATINA, 2007, Fortaleza. *Anais* ... Fortaleza, 8 p, 1 CD-ROM, 2007.

PILLAY, S.D.; FRIEDRICH, E.; BUCKLEY, C.A. Life cycle assessment of an industrial water recycling plant. *Water Science and Technology*, v. 46, n. 9, p. 55–62, 2002.

PITTOCK, J. Climate change and water supply. *Water 21*, IWA, p. 12–14, jun 2008.

PO, M. et al. Predicting community behaviour in relation to wastewater reuse: what drives decisions to accept or reject? *Water for a healthy country national research flagship.* Perth: CSIRO Land and Water, 2005.

RAMOS, M. H. *A importância de programas de reúso e redução de perdas de água nas políticas públicas.* Disponível em: <http://www.semasa.sp.gov.br/admin/biblioteca/docs/pdf/35Assemae059.pdf>. Acesso em: 5 jan 2007.

ROSEN, M. A.; DINCEN, I. Exergy as the confluence of energy, environment and sustainable development. *Energy International Journal*, v. 1, n. 1, p. 3-13, 2001.

ROSENQUIST, L. E. D. A psychosocial analysis of the human-sanitation nexus. *Journal of Environmental Psychology* 25, p. 335–346, 2005.

SETAC. *Description of LCA.* Disponível em: <http://www.setac.org/node/32> Acesso em: 4 ago 2008.

SHARRATT, P. N; KIPERSTOK, A. Environmental optimisation of releases from industrial sites into a linear receiving body. *Computers Chem. Eng.,* n. 20, p. S1413-S1418, 1996.

SILVA, S.R.S;., COHIM, E. *Redução do desperdício de água com a medição individualizada em prédios populares de Salvador.* In: CONGRESO INTERAMERICANO AIDIS, 31. Santiago, Chile. *Anais...* Santiago, Chile, 2008.

TAMBO, N. *Technology in the high entropy world.* Conference slides. Xian and Sapporo: may/jun 2005.

_______. Technology in the high entropy world. *Water Science & Technology,* v. 53, n. 9, p. 1–,. 2006.

_______. Urban Metabolic system of water in the 21st century. In: WATANABE, Y.; FUNAMIZU, N. (Eds.). *Water resources and water supply in the 21st century:* International symposium on water resources and water supply in the 21st century. oct 5-6, 2001. Sapporo: Hokkaido University Press, 2003.

TODD, J.A., CURRAN, M.A. *Streamlined life-cycle assessment:* a final report from the SETAC North America Streamlined LCA Workgroup. [s.l.]: Setac, 1999.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. *Controle do impacto da urbanização. Drenagem Urbana.* Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/ UFRGS, p. 277-345 1995.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Report of the World Commission on Environment and Development:* Our Common Future, 1987.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Division For Sustainable Development. *Agenda 21.* Disponível em: <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/english/agenda21toc.htm>, 2004.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Division For Sustainable Development. *Agenda 21.* Disponível em: <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/english/agenda21toc.htm>, 2004.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Millennium Project. *Investing in development:* a practical plan to achieve the Millennium Development Goals. New York: 2005.

UNDP. *Human development report, beyond scarcity:* Power, poverty and the global water crisis. [s.l.], 2006.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Response to congress on the use of decentralized wastewater treatment systems.* 104 p. [s.l.], ap 1997.

USEPA. Life cycle assessment: principles and practice. USA: may 2006. EPA/600/R-06/060. Disponível em: <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/pdfs/600r06060.pdf >.

USEPA. *Guidelines for management of on-site/decentralized wastewater systems.* USA, 2000. EPA 832 F-00-038.

USEPA. *Response to congress on the use of decentralized wastewater treatment systems.* USA, 1997. EPA 832-R-97-001b.

VAIRAVAMOORTHY, K.; MANSOOR, M.A.M. Demand management in developing countries. In: BUTLER, D.; MEMON, F.A. (Ed.). *Water demand management.* [s.l.]: *IWA Publishing,* 2006.

VAN DER VLEUTEN-BALKEMA, A. J. *Sustainable wastewater treatment,* developing a methodology and selecting promising systems. Eindhoven: Technische Univesiteit Eindhoven, 2003.

VAN LOOSDRECHT, M. *Palestra proferida no* CONGRESSO INTERNACIONAL DA ÁGUA DA IWA, INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. Viena: 11 set 2008.

VENHUIZEN, D. *The decentralized concept of "waste" water management.* [s.l.; s.n.]. Disponível em: <http://www.venhuizen-ww.com/html/paper/dc_concept.html>. Acesso em: ago 2004.

VERSTEEG, N.; TOLBOOM, J. Water conservation: urban utilities. In: DAVIS, R.; HIRJI, R. (Ed). *Water resources and environment.* [s.l.]: World Bank, 2003.

VICKERS, A. *Handbook of water use and conservation.* Amherst: Water Plow Press, 2002.

VIGARELLO, Georges. *O limpo e o sujo: uma história da higiene corporal.* São Paulo: Martins Fontes, 1996.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.* Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Ambiental/UFMG, 2006.

VON WEIZSÄCKER, E.U., LOVINS, A., LOVINS, H. *Factor four:* Doubling wealth, halving resource use. Earthscan, London: 1997.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. E; TESTEMALE, P. *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth.* 160 p. [s.l.]: New Society Publishers, 1998.

WEAVER, P.*et al.* (Eds.) *Sustainable technology development.* 1st ed. v. 1. 304 p. Sheffield: Greenleaf Publishing Ltd., 2000.

WEST, S. *Centralized management:* The key to successful on-site sewerage service. On-site 1st Conference. Armidale: 2001.

WERNER, C. *et al. Guidelines for the preparation and implementation of ecosan projects.* 2nd Draft. [s.l.]: GTZ, 2003.

WEST, S. *Centralized management: the key to successful on-site sewerage service.* In: ON-SITE 1ST CONFERENCE. Armidale: 2001.

WILDERER, P.A.; SCHREFF, D. Decentralized and centralized wastewater management: a challenge for technology developers. *Water Science and Technology*, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2000.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Protecting health from climate change:* World Health Day 2008. 25 p. Disponível em: <http://www.who.int/world-health-day/toolkit/report_web.pdf> Acesso em: 23 set 2008.

WWF – BRASIL. *Agenda elétrica sustentável 2020*: estudo de cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo. [s.l.], set 2006. 79 p. Disponível em: <http://www.wwf.org.br>.

YANG, H. *et al.* Evaluating waste treatment, recycle and reuse in industrial system: an application of the e mergy approach. *Ecological Modelling,* v. 160, p. 13-21, 2003.

Notas

1 Parágrafo extraído do livro "Prata da Casa: Construindo Produção Limpa na Bahia" (KIPERSTOK, 2008)

2 IDEM.

3 *"Paris lança cinco milcvhões por ano no mar. E isto não metaforicamente.*

Como, e de que modo? Dia e noite. Com que propósito? Nenhum. Com que pensamento? Sem pensar nisto. Para o que usa? Para nada. Por meio de que órgão? Por meio de seu intestino. O que é seu intestino? Sua rede de esgotos...

Depois de longa experimentação, a ciência sabe agora que o mais fertilizador e o mais efetivo dos adubos são aqueles do homem. O chinês, nós temos que dizer para nossa vergonha, aprendeu isto antes de nós. Nenhum camponês chinês, Eckerberg nos fala, vai para a cidade sem trazer na volta, nas duas extremidades de sua vara de bambu, dois baldes cheios do que nós chamamos merda. Graças ao fertilizante humano, a terra na China ainda está tão jovem quanto nos dias de Abraão. O trigo chinês rende cento e vinte vezes mais.

Não há nenhum guano comparável em fertilidade aos detritos de uma capital. Uma grande cidade é o mais poderoso dos produtores de esterco. Empregar a cidade para enriquecer os campos seria um sucesso seguro. Se de um lado nosso ouro é adubo, no outro, nosso adubo é ouro. O que é feito com este ouro, adubo? É varrido para o abismo.

A um grande custo, nós enviamos frotas de navios, juntar no Pólo Sul o cocô de petrels e pinguins, e o elemento incalculável de riqueza que nós temos à mão nós lançamos no mar. Todo o adubo humano e animal que o mundo perde, se retornado para a terra em vez de ser lançado na água, bastaria para nutrir o mundo...

Este lixo amontoado junto a blocos de pedra, os condutos de lodo que turbilhonam à noite pelas ruas, as terríveis carroças dos catadores de lixo, o fluxo fétido de lodo subterrâneo que a superfície do pavimento esconde de você, você sabe o que é tudo isso? É o prado florescente, é a grama verde, é manjerona e tomilho, é sálvia, é caça, é gado, é o mugido satisfeito de bois durante a noite, é feno perfumado, é trigo dourado, é pão em sua mesa, é alegria, é vida. Assim deseja esta criação misteriosa, transformação em terra e transfiguração em paraíso.

Ponha isso no grande caldeirão; sua abundância transbordará. A nutrição dos campos faz a nutrição de homens. Você tem o poder para jogar fora esta riqueza, e me achar ridículo. Isso será o coroamento de sua ignorância...

O sistema presente erra tentando fazer o bem. A intenção é boa, o resultado é triste. Os homens pensam que eles estão saneando a cidade; eles estão emagrecendo a população...

Uma rede de esgoto é um equívoco"
HUGO, V. In: Os Miseráveis, 1868.

4 Para uma discussão adicional sobre fatores de ecoeficiência e sua aplicação ao saneamento ver: Aisse, Cohim & Kiperstok (2006).

5 Na análise emergética "todos os recursos são avaliados na base da quantidade, direta e indireta de energia solar necessária para sua geração" (BJÖRKLUND *et al.*, 2000). O conceito de emergia foi definido pelos seus idealizadores como "a energia solar disponível usada direta ou indiretamente para fazer uma atividade ou produto (ODUM & ODUM, 1983 *apud* YANG *et al.*, 2003).

6 Global Footprint Network (<http://www.footprintnetwork.org/>), que congrega autores como David Suzuki, Lester Brown e Herman Daly no seu conselho consultivo; The Sustainable Scale Project (<http://www.sustainablescale.org>), Brian Czech, Herman Daly, Josh Farley, entre outros.

7 Para maior aprofundamento ver os trabalhos de Graedel & Allenby (1995) e Kiperstok *et al.* (2002)

8 Geralmente referido pela sigla LCA (*Life Cycle Assessment*)

9 Versões *demo* dos *softwares* Gabi e SimaPro podem ser encontrados em <http://www.gabi-software.com> e <http://www.pre.nl/simapro/default.htm>.

10 *Mass flow assessment*

11 De fato esta ajuda já vem se dando em programas como o Procel Sanear, que procura apoiar a eficientização energética do setor saneamento.

12 Constituem as águas cinza os efluentes não fecais de uma residência. Muitos autores excluem destas os efluentes das pias de cozinha.

13 Bastos & Bevilacqua, (2006) baseados em discussões ocorridas durante o edital 4 da Rede Prosab (Tema 2), citam que para a reposição de água em descargas de bacias sanitárias, águas com até 103 coliformes termotolerantes em 100 ml são aceitáveis. Isto é reforçado, na mesma publicação por Aisse, Cohim & Kiperstok (2006).

14 O saneamento sustentável considera que mesmo existindo em excesso é preferível não retirar a água do manancial a não ser que um uso adequado seja dado a ela.

15 No edital 5 do Prosab, isto foi estudado pelo Tema 4, que aborda o assunto dos lodos de fossas sépticas.

16 Este estudo simulou a produção de água de telhado de modelo desenvolvido em planilha eletrônica pela equipe da UFBA no Prosab, utilizando dados diários da precipitação em Salvador, dos últimos 8 anos (COHIM *et al.*, 2007). Foi considerada uma residência de 100 m^2 de telhado com quatro pessoas consumindo entre 20 e 120 L.hab.dia de água de chuva. O custo dos reservatórios foi levantado no mercado de Salvador.

17 Von Sperling (2006), em *Introdução à qualidade da água* (sd), considerou que o esgoto doméstico contêm, em média, 0,054 kg de DBO.pessoa.dia (para uma DBO de 300mg.L) e 0,11 kg de DQO.pessoa.dia (para uma DQO de 600mg.L).

18 Partes deste item foram extraídos de: *Produção Limpa* e *Ecosaneamento*, de autoria de Eduardo Cohim e Asher Kiperstok, que faz parte da coletânea *Prata da Casa: Construindo Produção Limpa na Bahia* (KIPERSTOK, 2008)

19 Trechos extraídos do artigo: *Do saneamento tradicional ao saneamento ecológico:* a necessidade de construir uma dimensão sócio-cultural (FERNANDA COHIM et al., 2007).

FINANCIADORES

Ministério da Ciência e Tecnologia

APOIO

COORDENADORES

Ricardo Franci Gonçalves
(Coordenador da rede)
Departamento de Engenharia Ambiental da UFES
Caixa Postal 01-9011
CEP 29060-970 Vitória, ES
Tel. (27) 3335-2648 e-mail: franci@npd.ufes.br

Peter Batista Cheung
Departamento de Hidráulica e Transportes da UFMS
Caixa Postal 549
CEP 79070-900 Campo Grande, MS
Tel. (67) 3345-7015 e-mail: peterbcheung@gmail.com

Benedito Cláudio da Silva
Grupo de Estudos Energéticos da Unifei
Av. BPS, 1.303
CEP 37500-903 Itajubá, MG
Tel. (35) 3629-1411 e-mail: silvabenedito@gmail.com

Wolney Castilho Alves
Laboratório de Instalações Prediais e Saneamento do IPT
CETAC – LIPS prédio 24, 3º andar Cidade Universitária
CEP 05508-901 São Paulo, SP
Tel. (11) 3767-4671 e-mail: wolneipt@ipt.br

Luiz Sérgio Philippi
Departamento de Engenharia Sanitária
e Ambiental da UFSC
Campus Universitário, Trindade
CEP 88040-970 Florianópolis, SC
Tel. (48) 3721-7696 e-mail: lsp@ens.ufsc.br

Heber Pimentel Gomes
Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da UFPB
Cidade Universitária
CEP 58050-900 João Pessoa, PB
Tel. (83) 3216-7037 ramal-20
e-mail: heber@lenhs.ct.ufpb.br

Asher Kiperstok
Departamento de Engenharia Ambiental da UFBA
Rua Aristidis Novis, 2, 4o andar, Federação
CEP 40210-630 Salvador, BA
Tel. (71) 3283-9892 e-mail: cteclim@ufba.br

COLABORADORES

Eduardo Pacheco Jordão – Poli/UFRJ
Gilberto De Martino Jannuzzi – FEM/Unicamp

ISBN 978-85-7022-161-2
9 788570 221612 >